

661
SIA

هو الجزء الثاني من كتاب رموز السر المصون في تطبيق

للمنهج على القنون * أبرزه من القنساوية الى العربية

راجي رحمة العيد المبدي * الصبر ولولاه السيد

صالح اقلدي * غفر الله ذنوبه وستر

في الدارين عيوبه

امين

فهرسة الجزء الثاني من كتاب كشف رموز السر المصون

مصطفى تطبيق الهندسة على الفنون

مخيفه

- ٢ بيان ميكانيكا الحرف والصنائع والفنون المستطرفة
- الدرس الاول في ذكر مجموع الابعدة المستعملة في الفنون الميكانيكية
- ٢ على العموم
- ٣ بيان الابعدة الهندسية
- ٣ بيان اقيسة الطول
- ٧ بيان اقيسة السطوح
- ٨ بيان اقيسة الاتساع
- ٨ بيان اقيسة الميكانيكا وهي الاثقال
- ٩ بيان قياس القوى في الميكانيكا بالنقود
- الدرس الثاني في بيان ما بقي من الابعدة وفي قوانين التحرك الاولى
- ٢١ وتطبيقها على الآلات
- ٢٤ بيان قوانين التحرك الاولى
- ٢٥ بيان التوازن
- ٣٦ بيان التناقل
- ٤٢ الدرس الثالث في بيان القوى المتوازية
- الدرس الرابع في بيان مراكز ثقل الآلات ومحصلات الصناعة وفي كيفية
- ٥٨ القوى
- ٦٤ بيان مركز ثقل السطوح
- ٦٤ بيان مركز ثقل المثلث
- ٦٥ بيان مركز ثقل ذى اربعة الاضلاع
- ٦٧ بيان مقادير القوى المتوازية
- ٨٢ بيان استعمال مراكز الثقل لاجل تحصيل حجم بعض الاجسام

الدرس الخامس في بيان ما بقى من قوانين الحركة

الدرس السادس في بيان الآلات البسيطة وهي الجبال والقناطر

المعلقة وعدد خيول العربات وأدوات السفن ولوازمها وما أشبه

ذلك

بيان الجبال

بيان الكباش (أي الشامردان) وهو الآلة المعدة لدق الخواير

بيان القناطر المعلقة

الدرس السابع في بيان ما بقى من الجبال وفي التحركات المستديرة

للجبال والقضبان والجالات والطيارات وفي مقادير الأثري

وفي البندولات

بيان البندول

بيان معادل الآلات البخارية

الدرس الثامن في بيان الرافعة

بيان الرافعة التي من النوع الأول

بيان الرافعة التي من النوع الثاني

بيان الرافعة التي من النوع الثالث

الدرس التاسع في بيان البكرات والمقالات

بيان البكر المتحركة

بيان التناقل في البكرات

الدرس العاشر في بيان المتجنون والطارات المضرة

بيان تأثيرات التناقل في المتجنون

الدرس الحادي عشر في بيان التوازن على المستويات الثابتة

والمستويات المائلة وسكك الحديد التي مستوياتها مائلة

بيان المستويات المائلة

جميعه

- الدرس الثاني عشر في بيان أهمية الملاحظة والحبال والتجارب
 وسائر الالات التي من هذا القبيل
 ٢٤٤
 بيان التواء الحبال
 ٢٥٢
 بيان التجارب
 ٢٥٤
 الدرس الثالث عشر في بيان ما يقع في الالات من الاحتكاك
 ٢٦٥
 الدرس الرابع عشر في بيان الضغط والشد والمرونة على العموم
 ٢٨٦
 الدرس الخامس عشر في بيان اصطدام الاجسام
 ٣٠٧

بيان ما وقع من الخطا والصواب في الجزء الثاني من كتاب كشف رموز
السر المصون في تطبيق الهندسة على الفنون

خطا	صواب	صحيفة	سطر
اقبسة الاتساع	المكاييل	٨	١
اوالاتساع	اوالمكاييل	٨	٢
اقبسة السعة	المكاييل	١٣	١٤
ومواد التجارة	وآلات التجارة	١٣	٢٣
عقتها	اعتتها	١٣	٢٤
وا	وا	٣٣	١٧
ا	ا	٣٣	١٨
ا	ا	٣٣	١٩
ا	ا	٣٣	٢٤
كبة القوى	مقادير القوى	٥٨	١٣
متألفا	متألف	٦٠	١٠
ع	غ	٧٢	١٣
جلا فطة	صناع	٧٣	٧
٢	$\frac{1}{2}$	٧٥	٣
ع غ	غ غ	٧٥	٩
ع غ	غ غ	٧٥	١١
ص	ض	٨١	٦
ك ص	ك ض	٨١	٧
عند مركز	عن مركز	٨١	١٠
م ص	م ض	٩٨	١٥٠
و ح ح	و ح ح	٩٨	١٧
اذا انزلنا	اذا انزلنا	٩٩	٥

خطا	صواب	صحيحة	سطر
اي المتجنيق	اي المتجنون (وهكذا كمالا جاء في هذا	١٠٣	١٢
	الجزر متجنين فصوابه متجنون)		
بالنظرن	بالنظريات	١٠٣	١٨
ث صه ز صه	ث صه ز صه	١٠٨	٥
اسه	اصه	١٠٩	١٤
فص	فض	١٣٥	١٦
و غ م	و غ م	١٣٨	١٦
فتكون م التي هي كبة	فتكون كبة تحركم	١٤٢	٢
التحرك			
من نقطة ل	من نقطة د	١٦١	٢١
على لسان	على حالة	١٦٦	١٩ و ٢٠
لقوة س	لقوة سه	١٧١	٢١
وهور	وهول	١٧٤	٩
ل	ل	١٧٤	١٨
س ل	س ل	١٧٤	١٩
خ خ	خ خ	١٧٨	٢
خ خ	خ خ	١٨٤	٤
ل	ل	١٨٥	٩
(ث +)	(ث +)	٢٠٢	٩
ونقطة	ونقط	٢٠٤	١٢
من نقل	من مركز نقل	٢٠٤	٢٣
مركبة	مركبة (شكل ٤)	٢٠٥	٢٠

خطا	صواب	صحيحة	سطر
العيار	العيار (شكل ٦)	٢٠٦	١٦
يحييه	ويحييه	٢١١	٣
كالقرص	كالدولاب	٢١٤	١٥, ٨, ٦
أبـ	أبـ	٢١٥	٤
ز=	ز=	٢١٥	١٦
ز×	ز×	٢١٥	١٧
ح ع	ح غ	٢٢٢	٦
وذوات	وذات	٢٢٣	٢٥
م ب	م ن	٢٢٥	١٣
الرياح الطبية	المصاريف	٢٣٥	٢
طاقات	حالات	٢٣٦	٨
ف=	ف=	٢٥١	١٧
ح	خ	٢٥٧	١٩
من اطرافهما	من اطرافهما	٢٦٧	٦
استبدلوا	فاستبدلوا	٢٦٨	٢٣
رمانة القبان	القبان	٢٧٣	٢٢
٢٠٠٠٠٧	١٠٠٠٠٠٧		
١٠٠: ١٦ الخ	١٤٢:	٢٧٤	١٥
١٠٠: ١٦ الخ	١٠٠: ١٦ الخ	٢٨٤	٧, ٦
فكي الكاشة	فكي المتحنة	٢٨٨	١٤



(بيان ميكانيكا الحرف والصنائع والفنون المستطرفة)

(الدرس الاول)

(في ذكر مجموع الاقيسة المستعملة في الفنون الميكانيكية على العموم)

اعلم ان خواص الاجسام المادية قابلة للقياس وقياسها يحدث في علم الحساب طريقة تقويم النسب الموجودة بين الخواص المتماثلة والدرجات المتنوعة من كل خاصية

ثم ان البحث عن طرق تحصيل قياس هذه الخواص من موضوعات علم الطبيعة الاصلية وكلما ظهر فرع جديد من هذا العلم يلزم ايجاد اقيسة للنسب الجديدة التي تظهر منه وكل من هذه الاقيسة يوصل عادة الى معارف لا يمكن اكتسابها بدون العلم المذكور

ولنقتصر الآن على معرفة الاقيسة التي لا بد منها في علم الميكانيكا واما الاقيسة
الاصلية التي لا فائدة لها الا في بعض فروع من هذا العلم وفي بعض فستبينها
مرتبة عند الكلام على المواد الاصلية المتعلقة بها

*(بيان الاقيسة الهندسية) *

تطلق الاقيسة الهندسية على اقيسة الامتداد وهي المسافات والسطوح
والججوم وتستعمل تلك الاقيسة في علم الميكانيكا لاجل قياس المسافات
المشغولة والمقطوعة بالنقطة والخطوط والسطوح والاجسام

*(بيان اقيسة الطول) *

اتفقوا على انه يمكن اخذ جزء من خط مستقيم كثير الامتداد او قليله وجعله
وحدة للطول وانه يمكن ايضا تغيير هذه الوحدة على حسب الازمنة والامكنة
والاحتياجات والاحوال ومن ثم ترى القرنساوية والنمساوية والاطاليين
والانكليز واغلب الملل يستعملون لقياس الاطوال وحدة مختلفة بل ترى
في الغالب الامم الواحدة تستعمل في اقاليمها المتسعة اقيسة للطول غير متماثلة
بالكلية

ومثل هذا الاختلاف ينشأ عنه خطأ كبير في عمليات الفنون والتجارة وما به
مخالطة الاهالي وارتباط بعضهم ببعض وبواسطته يلزم معرفة نسبة الاحاد
المتضادة للمعدن لقياس الاشياء المتجانسة معرفة صحيحة تامة فاذا اردنا عمل
ما يلزم من الحسابات للاشغال الميكانيكية والنقل والبيع والشراء يلزم
تحويل الارقام لاجل معرفة المقدار الحقيقي للابعد والاسعار

وبقطع النظر عما يترتب على هذا التحويل من ضياع الزمن يوجد في وسائط
التحويل المذكور نقص بين يغش به من ليس معه زمن كاف او لا قدرة له
على فهم مثل تلك الحسابات المشكلة التي لم ترل اخذتها في الزيادة فاذن يجب
على كل ملكه أن لا يستعمل في جميع اراضيها الانوع واحدا من الاقيسة

واذا امكن النظر رأيت ايضا انه يلزم ذلك لجميع الناس لاسيما الامم المتقدمة نظرا
لحاطاتهم الاهلية

ومن ثم كانت مملكة البلاد الواطية وقسم من بلاد السويدية والبيومون
ومملكة إيطاليا القديمة ومملكة نابلي تستعمل الآن انواع الاقيسة التي
اصطلح عليها القرنساوية ولولا ما يوجد عند بعض الامم من المنافسة والغيرة
لاستعملت تلك الانواع عند جميع الملل المتقدمة في المعارف

ثم ان وحدة اقيسة الطول التي كانت مستعملة قديما ليس لها في الطبيعة اصل
ثابت يقول عليه في استعمال هذه الوحدة في سائر الازمنة والاكنة واخذوا
قديما القدم والتواز على طول قامة وقدم من افسان طويل القامة ولكن
حيث كان يندرج وجود شخصين متعددين في طول القدم والقامة لزم انهم
لوفقدوا مقدار القدم والتواز المنتقد من لتعذر عليهم ايجاد هذه الوحدة

نابيا مع مزيد الضبط والصحة

ولما عثر العلماء القريحي أن يقيسوا على سطح الارض المسافة التي بين القطب
وخط الاستواء من الشمال الى الجنوب تابعين اتجاه خط من خطوط نصف
النهار جروا هذه العملية النفيسة مع النجاح الذي عظم به شأن الطرق العلمية
والا لان الميكانيكية والمعارف والمواظبة وشجاعة مشاهير الرجال الذين
شرعوا واستمروا على هذا العمل الجسيم

وذات انهم بعد أن قوموا طول المسافة المذكورة مع غاية الضبط الذي توصل
اليه لصناعة قسمه الى عشرة ملايين متساوية الاجزاء اخذوا احدها
الاجزاء وجعلوه وحدة للطول وسماه مترا

والمتر يساوي بمقابلته للاقيسة القديمة ٣ اقدام و ١١ خطا و ٢٩٦
من لف من خط اعني انه اقل من ٣ اقدام وقيراط

فادام يكن هنالك الامسافات مختلفة قليلا وكانت لا تحتاج الى مزيد الضبط
امكن استعمال نوع واحد من الآحاد وتزلة الكسور الا ان هنالك مسافات
عديدة او اطوالا كثيرة ينبغي قياسها باقل من المتر وهذا من البديهييات
فان هنالك اشياء لم يبلغ طولها مترا واحدا وبناء على ذلك لزم تقسيم الوحدة
الاصاية للاقيسة الى تقسيمات اولية وثانوية

وبذلك ظهرت إحدى الفوائد العظيمة الناشئة عن الطريقة الجديدة
ثم أن طريقة العد في باب العدية تكون بالآحاد والعشرات والمئات وأرباب
الآلاف وهكذا بأن تبدأ بالآحاد من عشرة إلى عشرة أكبر منها إذا راعينا
تركيب الأرقام من الميز إلى الشمال ومن عشرة إلى عشرة أصغر منها
إذا راعينا العكس أي من الشمال إلى الميز

وهذه الطريقة مطابقة لطريقة الأقيسة الفرنسية الجديدة والانسب أن يقال
إنها عين الطريقة الداخلة في ضروب الأقيسة الفرنسية وتقسيماتها الثانوية
وقد قسموا أولاً المتر إلى عشرة أجزاء وهي الديسمتر ثم قسموا الديسمتر
إلى عشرة أجزاء وهي عشر العشر أي مائة المتر وتسمى سنتيمتر ثم قسموا
السنتيمتر إلى عشرة أجزاء وهي عشار السنتيمتر أي عشار المئات أعني جزءاً
من القسم المتر وتسمى مليمتراً وهلم جرا

وقد اسلفنا أن هناك أشياء لا يبلغ طولها متراً فبناء على ذلك ينبغي أن يكون
هناك أحاد صغيرة لقياس الأشياء الصغيرة الأبعاد والمسافات القصيرة
وأحاد كبيرة لقياس الأشياء الكبيرة الأبعاد والمسافات الطويلة
فنم أخذوا طولاً يبلغ عشرة أمتار ليصنعوا منه القياس المسمى بالديكامتر
وطولاً مقداره عشرة ديكامترات أو مائة متر ليصنعوا منه القياس المسمى
بالاكتومتر

وطولاً مقداره عشرة اكتوبرات أي مائة متر مكررة عشر مرات أعني
الف متر ليصنعوا منه القياس المسمى بالكيلومتر
وطولاً مقداره الف متر مكرراً عشر مرات أعني عشرة آلاف متر ليصنعوا
منه القياس المسمى بالميريومتر

وكل عشرة من الميريومتر تساوي درجة مثبينة من الأرض أي ١٠٠
جزء من البعد المحصور بين القطب وخط الاستواء المقيس على خط من
خطوط نصف النهار

ودرجة الأرض العرضية تساوي عشرة من الميريومتر
والدقيقة تساوي كيلومتراً

والثانية تساوى ديكامترا

والثالثة تساوى دسمترا

والرابعة تساوى ملترا

فعلى ذلك ليست جميع الاقيسة المستعملة في طرق فرانسا وسككها
وفي الاشغال الهيئة الانوعا واحدا من ابتداء ملتر بسيط الى الدورة الكاملة
من الارض كما سبق موضحا في الدرس الثالث من الهندسة الذي تكلمنا فيه
على الدائرة

وبذلك يظهر لك ما يترتب على هذه المطابقات العظيمة من مزيد الاختصار
في كثير من عمليات الملاحة والطبوغرافيا اى رسم الارض او الجغرافيا
المزوجة بارصاد فلكية

واحتظم فوائد طريقة الاقيسة الجنبية هي سهولة جميع عمليات الحساب
على عمارتها اذ بها يمكن ان يصنع اى طول من الميريامتر او الكيلومتر او من
الاكتومتر او الديكامتر او التر على وجه بحيث يضع من الشمال
الى اليمين جميع تلك الاعداد بعضها عقب بعض كالاتحاد والعشرات والمئات
من عدد واحد

فعلى ذلك اذا كانت هذه الاسماء الماخوذة من اللغة اليونانية تنوش الذهن
ويعسر حفظها وتعليقها فانه يمكن عدم الالتفات اليها بالكلية وراحة
الذهن منها وتركه التلقظ بها والاتبان بدلها بعشرات التر ومئاته وهلم جرا
لان ذلك لا يغير شيئا من الطريقة الساجدة

ثم ان كسور التر وهى الديسمتر و الستيمتر و الميلتر الخ تكتب كالكسور
الاعتبارية على يمين الامتار وتجرى عملياتها مع السهولة كعمليات الاعداد
الصحيحة (الا انه يوضع بينها وبين الصحيحة شرطة تفصلها عنها مثلا ٤ ٥
يعنى خمسة امتار واربعة اعشار من متر)

ومن المعلوم ان كثيرا من الناس استعملوا غير مرة الاقيسة القديمة ولم يرالوا

يستعملونها الى الآن مع انهم يعرفون ان تقسيم هذه الطريقة الخالي عن
الانتظام يشوش الذهن ويوقع الانسان في الخيرة والسأمة وهو مع ذلك
عرضة للوقوع في الخطا فان التواز الذي قدره ستة اقدام والقدم الذي
قدره اثنا عشر قيراطا والتقيراط الذي قدره اثنا عشر خطا والخط الذي قدره
اثنا عشر نقطة يتكون منها تقسيمات ثانوية لا تطابق بالكلية ترتيب اعداد
الحسابات الاعشارية وهذه التقسيمات الثانوية المعروفة بالجزاء الضلعية
تستدعي عمليات صعبة يفرغ منها الاطفال لصعوبتها وكانت تستغرق
في تعليمها عدة سنوات لتكامل مدرستها بخلافها الآن فانه يمكن تعليمها
للاطفال من ابتداء صغرهم في قليل من الزمن بحيث يمكنهم تطبيقها
على الاقيسة الجديدة

وفوائد هذه الطريقة الجديدة توجد بعينها في انواع الاقيسة التي سنذكرها
وقد كان يظهر ان هذه الطريقة يجب أن تنشر وتستعمل عند جميع الامم
او عند الامة الفرنسية خاصة لما انها تعتبرها كالاتار المالية الان الاوامم
الفاسدة وما يعرض من الصعوبات الوقتية منعت من ذلك مدة مديدة
ثم ان المتر اصل لما عدها من اقيسة الطول الاخرى كما سبقت الاشارة اليه
وهو ايضا اصل لسائر اقيسة السطوح والحجوم والاتصال وغير ذلك

*(بيان اقيسة السطوح) *

اعلم ان الوحدة الاصلية لهذه الاقيسة هي المتر المربع
والا وهو المربع الذي طوله عشرة امتار وعرضه كذلك فهو كناية عن عشرة
صفوف مربعة من عشرة امتار مربعة او مائة متر مربع (كما هو مقرر
في الدرس الرابع من الهندسة)

والا كآر هو المربع الذي طوله عشرة آرات وعرضه كذلك فهو عبارة
عن عشرة صفوف مربعة من عشرة آرات مربعة او مائة آر مربع ويستعمله
الفرنساوية بدلا عن القدان القديم كما انهم يستعملون الارعوض عن القصبة
القديمة

(بيان اقيسة الاتساع)

المتر المكعب المسمى بالاستير هو وحدة الحجم والاتساع
فال مكعب الذي يبلغ دستيرا واحدا من جميع جهاته اى الذى قدره دستير مكعب
هو جزء من الف من المتر المكعب

ولاجل سهولة عمليات التجارة والتقنون الميكانيكية صنعوا اوالى يبلغ داخلها
دستيرا مكعبا وسموها لترًا واستعملوها فى قياس الموائع والمواد من
حبوب و تراب وغيرهما

واما الأكتولتر فهو وعاء أكبر من اللتر مائة مرة او يحتوى على
مائة لتر ولا اکتولتر هو قياس مائة متر

وبالنظر الى الكميات الصغيرة يتقسم المتر الى عشرة دسلترات او الى مائة
ستلتر او الف مليلتر الخ كما ان المتر يحتوى على عشرة دستيرات او مائة
ستير او الف ملتر

ثم ان ما يوجد من المشاهدة التامة بين هذه التقسيمات الثانوية للاقيسة المتنوعة
واسماها مقبول وملائم لا يقتضيه العقل وبه يسهل على كل انسان تذكر هذه
الاسماء بدون لولائها

ولامانع من تسمية الاقيسة الثلاثة التى بينها قريبا با لاقيسة الهندسية حيث
انها تكفى فى قياس جميع ما تبحث عنه الهندسة المحضة غير انه يلزم ان يضم اليها
اقيسة اخرى تحتاجها العلوم والتقنون الميكانيكية

(بيان اقيسة الميكانيكا وهى الاتقال)

لجميع اجسام الارض ميل الى القرب من مركزها فلولاً المانع لقربت منه
بان تسقط عليه ثمان الثقل هو القوة الكلية التى يميل بها الجسم الساكن الى
السقوط على وجه الارض

فعلى هذا يكون للجسمين ثقل واحد اذا كانت قوتهمما التى يميلان بها الى السقوط
جهة مركز الارض متساوية

ويمكن ان تارة ثقل الاجسام وتقويعه بواسطة الالات التى يساقى بيانها وبواسطة
تلك الالات يعرف هل الجسمين ثقل واحد ام لا

فالغرام هو وحدة القياس الذي ينسب اليه ثقل جميع الاجسام
والديكغرام هو ١٠ غرامات
والاكتوغرام هو ١٠٠ غرام
والكيلوغرام هو ١٠٠٠ غرام
والمرياغرام هو ١٠٠٠٠ غرام
وهذه الاسماء من قبيل الكلمات المركبة الاصطلاحية المستعملة في الاقسية
العظيمة كالتر والكترو وغيرهما فان كلا منهما مركب
ويستعمل الكيلوغرام في وزن الاجسام التي يكون ثقلها مائلا لثقل الاشياء
التي يمكن استعمالها بسهولة والقنطار المترى هو ١٠٠ كيلوغرام
وما يعرف عند الملاحين بالنسو (اي البرميل) هو ١٠٠٠ كيلوغرام
واما الغرام وتسمياته الثانوية فيستعمل في وزن الاشياء الصغيرة كمواد
الصياغة والكيميا والاجزائه وغير ذلك وينقسم الى عشرة دسغرامات
ومائة سنتغرام واللف ملغرام
ولاجل تطبيق صنج الاشغال على اقيسة الابعاد جعلوا مقياس الكيلوغرام
ثقل دسمر واحد مكعب او لتر من المياه الصافية الاقلى الى كثافتها العظمى
بواسطة هبوط درجة حرارتها على وجه لائق
فعلى ذلك انا كان لا يوجد في سائر بقاع الارض الا متر واحد او لتر
واحد او استير واحد او كيلوغرام واحد فانه يمكن ايجاد جميع انواع
الاقيسة الاخرى مع غاية الضبط والسهولة
والقياس المستعمل في الفنون الذي لا ينبغي اهماله هو النقود
فوحدة النقود هي الفرنك وهو ينقسم الى عشرة اجزاء تسمى دسما والى
مائة جزء تسمى شنتيما والى الف جزء تسمى ملزيم وكل خمسة فرنكات
تساوي ريبالا فرنساوي يسمى شنكو وكل ثلث اربعين من الشنكو يساوي
كيلوغراما واحدا وهذا هو الرابطة بين اقيسة النقود والاقيسة الجديدة
(بيان قياس القوى في الميكانيكا بالنقود)

كأن النقود تسد مسد المقادير كذلك تسد مسد قياس القوى المستعملة
في اشغال القنون

وقد قال المهندس مونتغولفير الشهير اني لا اعرف من القوى الا القوة
المستعملة بالاجرة فقد جعل النقود قياسا للقوة المستعملة في تحصيل
اي شئ كان

مثال ذلك رجل له درجة ما من القوة واستعملها في نقل اي ثقل الى مسافة
تبلغ مترا واعطى له في نظير ذلك فرنك واحد وآخر اقوى منه واشتغل قبله
زمننا طويلا او كان اسرع منه سيرا نقل ضعف الثقل المتقدم الى تلك المسافة
بعينها واعطى له في نظير ذلك فرنك كان فهذان الفرنكان يدلان على ان هذه
القوة ضعف المتقدمة فهذا هو كيفية استعمال النقود قياسا للقوة

فاذا فرضنا الان ان نأثنا ثقل بواسطة آلة ما كالنقلالة والعربة الصغيرة
والجترارة الثقل المتقدم ثلاث مرات بدون ان يصرف من القوة اكثر من التي
استعملها الرجل الاول الذي اخذ فرنكا واحدا في نظير نقل هذا الثقل مرة
واحدة الى المسافة المذكورة فان هذا الرجل النقال الذي استعمل الآلة
ياخذ ثلاثة فرنكات مع احتمال انه استعمل قوة دون التي استعملها الاول
الذي اخذ فرنكا واحدا فعلى ذلك لاجل أن تكون النتيجة واحدة ينبغي
أن يصرف احدهما قوة $\frac{1}{3}$ تكون اكبر من القوة التي صرفها الآخر
ثلاث مرات

وعلى ما ذهب اليه المهندس مونتغولفير يلزم أن تكون اجرة الرجلين
المتقدمين واحدة حيث انهما احدا عين النتيجة المتقدمة وأدبا من القوة
مقدارا واحدا وان كان احدهما صرف قوة اكبر من التي صرفها الآخر
ثلاث مرات

هذا والذي يجب على الميكانيكي أن يتصدى اليه من المسائل هو تحقيق جميع
الحركات والاتصالات واشغال القنون بحيث اذا اريد تحصيل نتيجة مفروضة
لا يستعمل في ذلك من القوة الممكنة الا كمية قليلة فبناء على ذلك يحصل

بواسطة كمية معلومة من القوى اليدوية مبلغ عظيم وهو اجرة النتيجة المطلوبة
فهذه هي المسئلة التي الغرض الاصل من ميكانيكا الفنون حلها
ثم ان القوة لا تظهر بمجرد التعادل والتوازن المتحصل بواسطة الانتقال
التي هي اتقاس هذه القوة بل تظهر بالحركات التي يانزم قياس مدتها
وانما لم اعرض الآن الى تعريف الزمن والمدة لان تعريفى اياهما لا ينضج به
ما يتصوره كل انسان

وتستعمل الاجسام التي تقطع مسافات متساوية في ازمته متساوية قياسا
للمدة غيرانه ربما استحال وجود مثل هذه الاجسام في الطبيعة ولكن
قد شاهد الراصدون ان الشمس ترجع بالنسبة لكل من تقط الارض الى
مستور رأسي عند اتصاف الليل والنهار (والمستوى الرأسى هو المستوى
الجانبي المتجه من الشمال الى الجنوب) وقسموا هذا الزمن الى اثني عشر جزءاً
وسموا بها بالساعات وقسموا الساعة الى ستين دقيقة والدقيقة الى ستين ثانية
وهلم جرا

وهذا القياس كاف بالنسبة لما تدعو اليه الحاجة عادة في الحياة الاهلية
والامور المنزلية بخلاف ما تدعو اليه حاجة العلوم المضبوطة كعلمي الفلك
والجغرافيا وكذلك ما تدعو اليه حاجة بعض الفنون كفن الملاحة فانه غير كاف
لكون ايام السنة ليست مساوية لبعضها

فيجعل الفلكي وحدة قياسه الطول المتوسط من جميع ايام السنة ثم يقسم
هذه الايام الفلكية تقسيماً ثانوياً الى ساعات ودقائق وثوان وغير ذلك والزمن
الذي يعرف بواسطة هذه الاقيسة الاخيرة يسمى بالزمن المتوسط

ولما ظهرت الطريقة الحديثة المتعلقة بالانتقال والاقيسة اختاروا التقسيم
السنة طريقة مصر وأينما التي هي زلة من نزل المصريين فقسموا السنة
الى اثني عشر شهراً والشهر الى ثلاثة اجزاء كل منها عشرة ايام وزادوا في كل سنة
خمس ايام على ٣٦٠ يوما الحاصلة من ضرب ٣٦ في عشرة وزادوا
كذلك في كل اربع سنين يوماً سادساً مكملاً لا ايام السنة الرابعة فتكون السنة

على ذلك ٣٦٦ يوما وهي المعجزة بالسنة الكبيسة فكانت هذه الطريقة ارجح مما تقر في زيج غرغوار من التقويم الخائب
 القريب الثاني من الاثنى عشر شهرا التي منها ماهو ٢٨ يوما ومنها ماهو
 ٢٩ ومنها ماهو ٣٠ ومنها ماهو ٣١ ومجموعها على ما في الزيج
 المذكور ٥٢ اسبوعا الا ان جميع النصارى يميلون الى تقسيم
 السنة بالاسبوع وايام البطالة والشغل المتعاقبة مع ان ذلك يخالف لقانون
 العبادة حيث انهم كانوا يجعلون رؤس العشرات للدعة والبطالة واشهار
 المواسم الدينية وعلى ما تقدم ينبغي ابقاء الايام على ما كانت عليه سابقا
 ولا يلزم استعمال تقسيمها بالعشرات الا في التجارة والحسابات العامة
 وحيث قد فليس هناك ما يمنع تلك الطريقة الاموانع قليلة
 ولم يحفظ من تقسيم اليوم الى عشر ساعات والساعة الى مائة دقيقة والدقيقة
 الى مائة ثانية الا تقسيم العشرات والاثنى عشر شهرا المتساوية
 وثم موافق كثيرة منعت من شمول هذا الحكم للاجزاء الاخرى من مجموع الانتقال
 والاقيسة ولاجل جعل الموافق التي تمنع من اختيار هذه الطريقة على منوال
 الحسابات يلزم أن تبين خطاء المدرسين الذين يحملون الناس على اختيار
 الطريقة المذكورة بمحض القوة والا كراه فنقول انهم كانوا دائما يخشون
 أن تذهب من بين ايديهم حكومتهم المضطربة التي لاثبات لها فبادروا قبل
 كل شيء باجراء ما ينبغي عمله مع سهولة
 ومن العمليات الاولى تجديد سبك جميع النقود التي وحدتها الفرنك الطورى
 القديم واما النقود الجديدة فحدثها الفرنك الجديد وقد مكثوا اكثر من خمس
 عشرة سنة في تجديد سبك نقود الفضة ولم يكمل الى الآن واما نقود الذهب
 فانها لم تبلغ الحد المطلوب الى ذلك الوقت
 وقد اخطأ مبتدعو طريقة الاقيسة الجديدة خطأ فاحشا حيث ابطوا عموم
 استعمالها قبل أن يجددوا عددا كافيا من انواع الاقيسة فكان ذلك سببا
 في تعذر اجراء هذا القانون بدون واسطة

فبذلك صار التجار الذين الجأهم الضرورة الى أن يبيعوا بمقتضى الاقيسة
الجديدة مجبورين على أن يبيعوا بمقتضى الاقيسة القديمة نظرا الى ترغيب
المشتريين فانهم يريدون قواما من الجوخ مثلا لا مترا ورطلين من خبز
لا كيلو غراما وزقمان خمر لا لتر فهذا ما كانوا يفعلونه غالبا لاجل تطبيق
الاقيسة الجديدة على القديمة او لاجل تحويل بعضها الى بعض

وقد تلاشى بعض هذه المضرات بتداول الازمان
وصارت الآن الطريقة الجديدة التي تخص النقود معلومة عند اغلب اهل
مملكة فرنسا ومصولا بها

وصار اهل مدينتي باريس ونيوريس يستعملون الآن في قياس
خشب الحريق الاستير دون غيره

واما الكيلوغرام فانه مستعمل عند كافة النقالين والتجار
واما مقدار المتر فهو معروف ومعرفته تامة عند الشغالين من جميع الطوائف
لكونه قياسا للموائع

ومع ذلك فهناك بعض استثناءات مضرة من اقيسة السعة وهي المكاييل
يرجى زوالها

ولما تكلمنا على الجهالات والاهام الفاسدة ناسب أن نبين بعض موهوبات
اخرى لا تعلق لها بآراء الناس وانما هي ناشئة من طبيعة الاشياء فيستنبط
من ذلك البيان بعض معارف في الطرق التي يتبناها قبول طريقة الاقيسة
الجديدة والعمل بها فنقول

فما يشق على الانسان أن يترك طريقة الاقيسة المستعملة منذ زمن طويل
فان ضرر مبادئ الاختراع اكثر من نفعها وها هي الصعوبات المذكورة
وهي ان جميع الاشياء المستعملة في الفنون وعند الناس كالات الكبيرة
والصغيرة ومواد التجارة والمنقولات والعمارات تتركب من الاصول التي
عدها التجربة والبراهين والحساب لتعيين الابعاد والاتقال والحجوم حتى
ان الحافظة وعت شيئا فشيئا الاعداد الدالة على الحجوم والاتقال والابعاد

المتقدمة المنسوبة الى وحدة القياس فاذا كان الصانع لا يتقنيس معارفه
من افوار العلوم كان علمه مقصورا على المعرفة المحلية المتعلقة بمقادير كل نوع
بحيث اذا تغيرت وحدة القياس المعهودة له صارت معرفته العددية مقنودة
بالكلية ولذا اراد اخذ قياس بعد صغير لزم له تحويلات وحسابات وضياح
زمن وزيادة تعب ولكن الكسل عند هؤلاء الناس بمنزلة المحامي الفصيح
مع ان الواقع خلافه فان تصوراتنا لا تخرج عن اللغة المستعملة عندنا بل
اذا قلنا لغة اخرى فانه لا يمكن أن تتبع ما يبدو لنا فيها من التصورات
المتعاقبة ولا تفصيلها وتقابل بينها زمنا طويلا بدون أن نراجع لغتنا الاصلية
مع الادراك والتعلل ولا شك ان هذه المعنونة ظهرت بالتجربة لعدة من الناس
وبالجمله فقد يوجد من ذلك عمليات تتعلق به قولنا وذلك اننا اذا استعملنا
وحدة القياس مرارا فانها ترسخ بقوة هذا الاستعمال في اذهانتنا بمعنى
اننا نرى في الفراغ مقدار هذه الوحدة الحقيقي ونعرف كيفية تطبيقه
على الاشياء التي تتصور صورتها فاكتساب هذه المعرفة حيث من اعظم
التقدمات في ممارسة الفنون حيث يصير بها النظر هندسيا ويتعود
على العمل المضبوط وبذلك يكون في غاية الكمال

ومما هو واقع الآن انك اذا الزمت من يعرف اي نوع من الاقيسة بتغيير
آحاد قياسه فان كان من الناس المعتادين اي كيفية الرجال الذين لم يخرجوا
عن العادة ضاعت منه معرفة الامتدادات بحيث اذا اطلع على طول القدم
ظن انه يساوي طول ثلاثة اقدام وربما زاد عليه قيراطا واعتقد صحة هذا
الطول ومع ذلك فلا يتصوره كتصور الوحيدة ولا يعرف كيفية تطبيقه
على الاشياء حتى يحولها الى قياسه ولا يستعمل المتر وتقسيماته الثانوية
الا اذا عرف من اقدام مثلا ما يبلغه البعد الذي يظن انه مناسب لشي
من الاشياء ثم يرى ما تساويه هذه اقدام من الامتار ولا يخفى ما في ذلك
من المنقصة والتطويل ولا ريب انه اذا استمر من لفريقة جيدة على هذا العمل
مدة مديدة فان ذلك يحدث عنه اقيسة جديدة ولكن قلما يوجد من الناس

من يبيع عاجلا بأجل جيد ولو كان قريب الحصول جدا
وقد اسلفنا آفا الكيفية المهمة التي يستعملها العقل في عمليات الفنون
ولما كان الناس عادة يميلون الى الاشياء البسيطة السهلة اجتهدوا في جعل
جميع الاشياء على نسبة اولية بينها وبين الاقيسة المستعملة وفي التعبير
بالاعداد الصحيحة عن الابعاد المستعملة عادة في الصناعة ويؤخذ من ذلك
ان الانسان الذي لم يحسب مدة حياته قوة قطعة صغيرة من الحديد او الحجارة
او الاخشاب لا يعرف هل مقدار قوتها يساوي ١٤ قيراطا او ١٢
قيراطا و $\frac{1}{4}$ او ١٢ قيراطا و $\frac{1}{4}$ او ١٣ قيراطا فكيف يمكنه
أن يعرف بمجرد النظر مناسبة اى بعد باقل من $\frac{1}{4}$ تقريبا وحيث ان هذا
التصديق المضبوط يفوق ما اعتاده عقله من العمليات لا يمكنه الوصول اليه
فعلى ذلك ينبغي أن يكون قياس القطعة التي يستعملها قدما محكما لانه اصح
جميع الاقيسة لكونه ابسطها وينتقل هذا القياس غالباً من المعلم الى المتعلم
وبداول الايام تصير الاشياء كلها متوارثة في عمليات الصناعة والعوائد
المبارية بين الناس لكن اذا تغيرت طريقة الاقيسة فان الاعداد الصحيحة
في الطريقة الاولى لا تكون صحيحة في الثانية وبالجملة اذا كان الانسان يريد
قدما من الطول لاجل قياس قطعة معه وكان قد رأى ان اباه او معلمه فرض
لقياسها قدما فكيف يطلب منه انه يفرض لها قياسا آخر غير متر واحد منقسم
الى ثلاثة احدى عشر من مائة واربعة واربعين من القدم ومائتين
وسنة وتسعين من الف من مائة واربعة واربعين منه اى من القدم المذكور
وبناء على ذلك اذا قال له بعض العارفين بالابعاد الحقيقية للقطعة المطلوب
قياسها مثلاً لا يصح أن يكون القياس المقروض لهذه القطعة اثني عشر قيراطا
محولة الى امتار بل بحسب ما ظهر لى من العمليات المتعقبة من النظريات
يكون ثلاثة دسمترات او ثلاثة دسمترات ونصف او نحو ذلك يظن ان قواعد قته
تغيرت بالكلية

ومن المؤلفين الذين ذكروا في كتبهم الاقيسة الحديدية من بين مقادير الاشياء

بهذه الاقيسة واصاف اليها نفس تلك المصادر بالاقيسة القديمة وحيث ان هذه
الاقيسة القديمة مستعملة كثيرا عند معظم القرائين من ذلك ان المتولين
بمطالعة تلك الكتب الذين يقتصرون على ما يكون من الاشياء قليل التعب
لا يميلون الا الى الاقيسة القديمة دون غيرها

ويظهر لناسيب آخر جدير بالذكرنا وحاصله انه حيث لم يكن ادراك الحاقطة
الاجتزائية في نظم ضبط المقادير المذكورة في اللغة المستعملة عندنا بكثرة ولجله
هذا السبب رأينا كثيرا من الناس من يعتقدان ضبط الاقيسة الجديدة اصعب
من ضبط المقادير المتساوية المبنية بالعنوان القديم بل انفتحت كلمتهم على تأييد
هذا التبجيل وكلا كانت المقادير مبنية باعداد بسيطة او صحيحة من الاقيسة
القديمة نشأ من الاقيسة الجديدة التي تكاد تكون صماء مع الاقيسة الاخرى
القديمة اعداد صعبة وربما كانت المتضادة التي يلجأ اليها القارئ بين هذه المقادير
المتضاربة من بعضها مضادة لوضع الطريقتين

ومن المؤلفين من اقتصر في تأليفه على الاقيسة الجديدة دون غيرها الا انهم
لم يراوا في الغالب يفتدون بسلفهم من المؤلفين في كونهم يعملون جميع
العمليات الاصلية على مقتضى الاقيسة القديمة فتشأ عن ذلك انهم عوضا
عن أن يحصل معهم من الاقيسة الجديدة اعداد صحيحة لم يحصل معهم
الا كسور وصاوها الى درجات تقريبية لا جدوى لها لكونهم تجاوزوا واحد
العصاة في كل من انواع العمليات

فعلى ذلك كان يلزم في جميع الفنون عند اختراع الاقيسة الجديدة عمل جداول
جديدة تكون صحيحة الاعداد على مقتضى الاقيسة المذكورة لانه يحدث عنها
المعلومات والحواصل الضرورية التي تكون المعلومات فيها نتائج لازمة
فان تكون منافع اختيار الطريقة الجديدة كثيرة ومضارة قليلة يمكن ازالها
في قليل من الزمن

وينبغي أن نشرح هذه التصورات شرحا موضحا فنقول
اذا كان هنالك متجربة في صناعة من الصناعات لزم ان الفنون التي

تتركب هي منها تكون مرتبطة ببعضها ارتباطا كلياً وقل من هذه الفنون ما لا يستمد من غيره آلات ومواد أولية بل منها ما الغرض الاصل من كفاية هذه الحاجة وتلك الفنون هي التي ينبغي اعتبارها ومراعاتها دون غيرها والتي يجب ادخال طريقة الاقيسة الجديدة فيها بجميع ما يمكن من الوسائط مع تحويل مائر المقادير وما ترابعاد محصولاتها الى اعداد صحيحة بالنسبة الى تلك الاقيسة فعلى ذلك كان يلزم اما أن تكسر انواع الصب والمساحب والقوالب او تنتظرها حتى تنكسر بنفسها وتعملها ثانياً على موجب طريقة الاقيسة الجديدة ثم يلزم ان الصناعات لا يعملونها الا اذا وفرا بجميع الشروط اللازمة وقد يكون ذلك في الاقنسة مثلاً بأن يفرض لها متر واحد او ٥ او ٦ او ٧ دسمترات من العرض وبالجمله فكان على من ادخل طريقة الاقيسة الجديدة في الفنون أن يمارس ادق تفاصيل تلك الفنون ويعانيتها مع التؤدة والتأني ولا شك ان ذلك فيه من المشقة ما لا مزيد عليه ومنفعته تفوق روثقه لكن يكفي من تصدى اليه من المؤلفين النجاح فيه وبلوغ المرام وتفصيل الشرف التام

ولنشرع الآن في ذكر امثلة صحيحة توضح ما سبق من الامور العامة فنقول اذا كانت الاقيسة الجديدة مختارة في بعض الجهات فان ذلك انما يكون حقيقياً في اشغال المصالح العامة لان المنوط بهار جال لهم اليد الطولى في المعارف وحيث ان هؤلاء الرجال بالنظر لصنائعهم اهم ارتباط بالحكومة التي يأخذون منها ادوات الهندسة ~~ص~~ كانوا بالضرورة هم الذين يخترعون وينشرون رسوم تلك الحكومة المتعلقة بالفنون ولتبحث فيما نحن بصدده عن الدرجة التي وصلوا اليها في تلك الرسوم فنقول

لما كان مهندسو الجهادية والقناطر والجسور مجبورين بطبيعة اشغالهم وخدمهم على عمل جلة عظيمة من الحسابات وتحقيقها ستحسبوا أن يتركوا من الطرق ما تكون به الحسابات صعبة وغير منتظمة ليسادروا بالاصطلاح على طريقة اخرى سهلة منتظمة كطريقة الاقيسة الاعشارية فخذوا

جدول مقادير اشغالهم بالاقيسة الجديدة ولم يعرفوا غيرها
وقد تقدمت الهندسة البحرية في هذا المعنى تقدماً بطياً بالكلية فانه ظهر
مع المشقة بعد اربع سنونات جدول ابعاد الاخشاب بالاقيسة الجديدة
ومع ما يوجد في هذه العملية الاولى من العيوب التي لاتعد ولا تحصى
كتطويل العمل جدا في تكعيب كمية عظيمة من الاخشاب اللازمة
لعمارة السفن اذا اقتضى الحال تكعيبها بموجب الاقدام والقراريط ونحو ذلك
بخلاف التكعيبات المتربة لظهور سهولتها فالاخشاب الواردة لاتتقاس
الا بالاقيسة الجديدة في مينات الدولة لكن يلزم لاجل تطبيق الاقيسة الجديدة
على فن عمارة السفن بذل الهمة والشغل الجسيم ويلزم ايضا عمل قوانين
تتضمن مصاريف السفن والفرايط وسائر انواع السفن باعداد معينة
مع بيان الابعاد الموقولة لكل قطعة من اجزاء السفينة على وجه التفصيل
وبالجملة فيلزم نشر هذا الشغل الجسيم في جميع القنون البحرية وهي التي
تكون محمولاتها عند المهندس اصلا لاشغاله كالصواري والخيال والبكر
والشراعات وغير ذلك وحيث انهم لم يجروا هذه العمليات الاولى اصلا
ترتب على ذلك انهم استعملوا المتر في المينات القرطبية ومناطويلا ثم قسموه
تقسما ثانويا الى اقدام وصار العمل على تلك اقدام وهذه الاقيسة ذات
الوجهين هي عين ما في الكتب المتقدمة قريبا التي ذكرت فيها الاقيسة مثنى
على وجه بحيث لا يراجع فيها الا الاقيسة القديمة

ولكن لما صارت السفن والقبائل تحت ادارة الملتزم كبير مونت تونير
وكان من اقدم تلامذة مدرسة المهندسخانة القرطبية حصل في ذلك تغيير
عظيم وذلك انه صدر عنه امر بانه من الآن فصاعدا لا ينبغي أن تستعمل
الاقيسة القديمة في مينات فرانسا ولا ترصاناتها ولا في القبائل وحكم
بابطال الاقيسة التي تدل من جهة على تقسيمات الاقيسة القديمة ومن اخرى
على تقسيمات الاقيسة الجديدة فانظر الى هذا المنافع البطيئة المحققة الناشئة
عن المدارس العظيمة التي يكتسب منها الشبان معارف متسعة مفيدة لكونها

تؤثر فيهم تأثيرا يزداد على عمر السنين حتى يكون فيهم استعداد الحكم بعد تجميع
دروسهم بهذا المثابة ويحصل بهم قمع لم يكن يعرف قبل ذلك
ومن المصالح العامة ما يكون فيه تأثير الموانع الآتية اقوى من تأثيرها
في غيره وذلك ان الاصل الذي يتعلق به ماعداء من الاصول في فن الطوبجية
هو ثقل الكلة او عيارها واما اقيسة المدافع وجبضاتها وذخيرتها وعرباتها
فذلك كله نتيجة ضرورية من ذلك الاصل غير ان اتقال الكلال المينة باعداد
صححة بالنسبة للاقيسة القديمة لا تكون باقية على حالها بالنسبة للاقيسة
الجديدة وعليه فما تسمى مثلا المدافع التي عيارها ٢٤ رطلا من الرصاص
فلا يصح أن يقال لها مدافع من التي عيارها ١٢ كيلو غراما لان ذلك
من قبيل الخطأ فان ١٢ كيلو غراما اكبر من ٢٤ رطلا ولا يصح ايضا
أن تسمى بالمدافع التي عيارها ١١ كيلو غراما لان ذلك من قبيل الخطأ
ايضا فان ١١ كيلو غراما اصغر من ٢٤ رطلا فاذا سميت بمدافع
عيارها ١١ او ١٢ كيلو غراما كانت هذه التسمية فاسدة وعليه
فتكون تسمية ذخيرتها وجميع معلوماتها المرتبة بموجب اتقال الكلة
فاحدة ايضا وهذه المشكلات محققة لاختفاء فيها زمن المعلوم ان صناعة
المدافع والكلل مع الاتقان والسرعة لا تمنع من زيادة ثقل الكلل فربما تجاوز
هذا الثقل عدد الاوطال المبين لعيارها وبذلك يقرب العدد المذكور المبين
اعيار الابوس والمدافع من نصف الكيلوغرامات
ولما ظهرت طريقة الاقيسة الجديدة لم يظهر في فن الطوبجية من الاحوال
ما يحصل فيه قابلية لأن يحدث فيه تغيير عام فاذا اخذت الطريقة العسكرية
الفرنجية في اتساع جديد ولزم لها انشاء معامل ومسابك لم تكن موجودة
في الاقيسة القديمة التي كانت آلتها انذاك غير معروفة في المصالح
لانتساع الاتقال وتقدمها على وجه لم يكن قبل ذلك فلم لاتصنع معامل
جديدة بموجب معايير ٤ انصاف كيلوغرامات او ٦ او ٨ الخ
عوضا عن أن تصنع بموجب معايير ٤ اوطال او ٦ او ٨ الخ فان

صنعها بموجب المعايير الاولى يترتب عليه في اسرع وقت كثرة عدد المدافع
الجديدة حتى لا تمكن المضاهاة بينها وبين المدافع القديمة ويحصل من الاعتناء
بهذا الامر ابطال الاقيسة القديمة وخروجها عن الخدمة العسكرية
بالكلية وبذلك يحصل تغير عظيم في الاقيسة بدون أن ينشأ عنه تلف
ولا بذل جهد فاذا كان يخشى من كثرة المعايير الوقية التي هي نتيجة
هذا الابتداء فلا شك انه يمكن أن تجعل اسلحة بعض الحصون وبعض الجيوش
من المدافع القديمة واسلحة الاخر من الجديدة لان هذه التغيرات تستدعي
ضرورة قل بعض المدافع غير انه عند قل المدافع القديمة من الحصون المأمونة
الى الحصون المخوفة او الايات العساكر المتقلة وكذلك عند قل مدافع المعامل
الجديدة الى الحواصل والجنائنات والحصون التي تكون قليلة الخطر وتقل
المعايير القديمة البحرية دائما الى السفن والمحاظلة بالجديدة على السواحل
ثم على جحوانات الميناء العظيمة يحدث من التأثير الطبيعي العرب تغير لا يعد
غريبا الا عند ذوى العقول القاصرة

فان قيل هل هذا التغير يمكن الآن قلنا نعم لا مانع منه فان هذه الوسائط
بيها توصل على عمر الازمان الى نتائج واحدة ويكفي في ذلك تغيير قطر
آلة تقب المدافع تغييرا لا تقا وماني يتغير بنفسه

وبالجمله فلامانع من ادخال اقيسة الامتداد الجديدة في فن الطوبجية سواء
حصل تغييرا ولم يحصل ولا ارتباط لهذه الاقيسة بصنخ الانتقال وليست معايير
المدافع التي قدرها ٤ اربطال او ٦ او ٨ الخ مبنية باعداد صحيحة
من القاريط كما انها لم تبن بالستمر وكذلك بعض مقاييس اخرى وربما كانت
هذه العملية عظيمة اذا كان احد ضباط هذه الاسلحة الشهيرة يقوم الاقيسة
القديمة الثابتة بالممارسة كالميكانيكي والمهندس ويحولها الى الاقيسة الجديدة
باعداد بسيطة فان ذلك لا يتخلو عن فائدة ولا شك ان هذه التقدمات هي نتيجة
هذا المشروع النفس ويتداول الازمان والقوائد الطبيعية التي تحدث عن هذا
الشغل تجبر جميع الجيوش على اختيار الاقيسة المذكورة ولا بد انه فيما بعد

يترتب على صحة المعايير تتقدم في اشغال فن الطوبجية
فاذا استعملت الاقيسة الجديدة في المصالح العامة وصارت مقبولة فيها كان لها
بذلك دخل في بقية الاشغال العامة وجميع الفنون المدنية المرتبطة بها ارتباطا
ضروريا وهي مجموع الفنون الرياضية تقريبا وقد كانت مستعملة قبل ذلك
في فنون الكيمياء مع الفائدة التامة فان معظم من مارسوا اشغال هذه الفنون
المتنوعة كانوا ينشرون ما اكتسبوه من المعارف شيئا فشيئا ويتداول الايام
نزول الموانع الاخرى

ولما فرغنا من الكلام على ما يترتب على التغيير الحاصل في مقدار الاقيسة
من الصعوبات وجب الآن أن نسرع في ذكر صعوبات تغيير العنوان
ولندكرها في مبادئ هذا الدرس فنقول

(الدرس الثاني)

في بيان ما ينشأ من الاقيسة وفي قوانين التحرك الاتيية وتطبيقها
على الآلات

قد تقدم ما يقضي بصحة الادلة التي بها اختيرت العناوين المستنبطة من اللغات
القديمة وقد كانت هذه الادلة في غاية الدقة والعموض بحيث لم يدركها جم غفير
من الناس حتى قالوا فيها بينهم لم يختاروا هذه الاسماء التي لا يعلم تأويلها
الا لخبهاء ابداء الراسخون في العلم لم يكنهم ما يحدث عن كل تغيير يحصل في مقدار
الاقيسة من المشكلات القوية مع قطع النظر عما يتولد عن العناوين الجديدة
من الموانع وهل مثل هذه الاصطلاحات لكافة الناس بل لامانع انه كلما سلك
الانسان في التعبير عن المكرر فاحسه بالفاظ مركبة من كلمتين التين على نوع
الوحدة واختصارها طريق الدقة والعموض كانت هذه الالفاظ الغير الجلية
اسرع الى النسيان وعدم الرسوخ في الذهن فيختلط عليه دائما هذه الالفاظ
الكثيرة المنتهية بكلمة واحدة نحو ملجتر و ستمر و دستمر ولكن من ذا الذي
يرى ان مثل هذه الاعتراضات الواهية تظهر على الحقيقة والصواب في الولايات
التي ينبغي لها المباشرة والتفاخر بوضع قواعد الاقيسة المستحسنة العظيمة

وإذا لم نبذل الجهد في تأييد ما ذهبنا اليه في شأن الأقيسة حتى تكون مقبولة
عند جميع الملل فهل ما عدانا من الملل يؤيد هذا المذهب الذي لا ينسب اليه
هذا ولا مانع أن نضيف الى تلك الأدلة التي لا يرجحها الاقليل من ارباب
العقول هذه الأدلة وهي انك اذا لم تغير اسم الأقيسة التي تركتها فكيف تميز
المقادير المينة أولا بالأقيسة القديمة ثم بالأقيسة الجديدة وهل يحصل ذلك
الا بواسطة كتابة اقيسة قديمة واقيسة جديدة دائما ولكن الكسل بعث الناس
على الاقتصاد على انصاف الاسماء الواجزة الدالة على الأقيسة فانك ترى
بعض تجار القمح اجتنابا بالعمل المشقة في النطق بجميع حروف كيلوغرام
مثلا يقتصرون على صدرها فيقولون كيلو فعلى ذلك لو سلخوا هذا المثلث
في الكيلومتر والكيلومتر لقالوا فيها ايضا كيلو وبذلك لا يعرفون ما ارادوه
بهذه الكلمة واما نحن معاشر الرياضيين فكلنا منا مفيد لابس فيه بحيث
لا يعوقنا عن المرام مثل هذا الالتباس الهين فيكتفي حينئذ باطلاق اسم
القدم على القدم القديم او ثلث المتر تقريبا ومن هنا يقع خلطنا فيما وقعنا فيه
اقيسة سلفنا غالباً من الخيرة وعدم الوقوف على الحقيقة * مثال ذلك استعمالهم
لقطة غلوة التي هي على اربعة انواع بدون أن يميزوا المراد من تلك الانواع
فانا لا ندري بايها قدرت المسافات التي نراها في كتبهم * فهذا هو الغرض
الذي نصدينا اليه وفاء بما يجب علينا لخلقنا وكيف يصح ان الاسماء المصطلح عليها
في علم من العلوم يعسر حفظها وثباتها في الذهن اذا كانت مركبة من خمس
عشرة كلمة فصاعدا وليس اتناود بالبالغة في صعوبة مثل ذلك حتى تقتصر بانه
من قبيل المجز الذي لا يارى ولا يقلب وهل يتكران تقدم العلوم منذ قرن كان
سببا في استعمال كثير من الاصطلاحات الماخوذة من اللغة اليونانية
وادخالها في العرف الخاص والعام فمن ذا الذي لا يعرف البارومتر والترمومتر
وكيف يسهل حفظ هذين الاسمين دون الكيلومتر مثلا

وهل ثم من الصبيان من لا يحفظ عدة اسماء صعبة مثل كسموراما وديوراما
وبانوراما وچيوراما وفتسماغوري ويعرفها بمدلولاتها حتى المعرفة

فأوجه معويتها دون متر ودستمر ونحوهما إلا أنها لا تدل إلا على الصور
والظلال القابلة للتغير القريبة الزوال من الذهن بخلاف المتر وفروعه فإنها
تدل دائماً على الأطوال المادية التي يمكن تناولها باليد ومساها ورسوخها بمجرد
الوقوف عليها بحيث لا يعتريها بعد ذلك تغير ولا زوال ولتعترف الآن أننا نتردد
أنهما كما واعتناهما بما لا يجدي قسماً من أمور اللهو واللعب تتكاسل عن
الانضات إلى ما لا يتمه في حاجتنا الضرورية

ولا حاجة إلى البحث عن اسماء مهملات اجنبية من الفن فهي سهلة الحفظ
حيث يوجد إلى الآن الفاظ كثيرة مصطلح عليها في الكيمياء عند جميع الفرق
فإن بعض من لا يقول عليهم من أرباب العقاقير والجراحين الذين في الأرياف
لم يزلوا إلى الآن يعرفون أصول هذه الألفاظ ومع ذلك فلا همل الكيمائيون
من الفرنسية الألفاظ العلمية النفيسة ليسهل تناولها على أرباب العقاقير
ومن يدعي معرفة الجراحة من جراحى الأرياف وكذلك لوسلك هذا المسلك
أهل النيساباطاليا والآنكليز واصطلحوا على الفاظ توافق لغاتهم
لتتنوع الاصطلاحات العلمية التي من شأنها الوحدة إلى أنواع عديدة ملتبسة
بعضها لآخر شرعوا في مشروعات محودة حيث اصلحوا وحرروا ما لا يحصى
من الألفاظ الاصطلاحية ففي ظرف عشر سنوات صارت هذه الألفاظ
مقبولة مستعملة عند سائر الأمم التي تمارس العلوم الطبيعية وبما يجب
التنبية عليه زيادة على ذلك أن هؤلاء العلماء المشغولين عن مساعد الجدد
والاجتهاد أخذوا في تجديد علومهم كلها بدون التفات إلى ما ينبتهم
عن ذلك وعليه فبازم تجديد علم الأقيسة بسائر أنواعه وفروعه وهذا هو
الغرض من كلا منا سابقاً ولاحقاً

وكان الكيماويين لما اعتنوا ثانياً بجميع الحوادث ليحددوا مع الضبط نسب
القواعد الثابتة عنها تلك الحوادث كان ذلك وسيلة إلى استكشافات كثيرة
جداً كذلك إذا صنع الإنسان جداول مضبوطة تحتوى على سائر أنواع
المقادير التي تكون عبارة عن معلومات الفنون كان ذلك أيضاً واسطة

في وصول العلم الى درجات الكمال وتطبيق العمليات على قواعد حساسية لم يكن جري فيما ذلكت من قبل فتكون هذه الاشغال منشأ للتقدمات المستقبلية

*** (بيان قوانين التحرك الاولى) ***

يظهر من رصد الاجسام المتحركة على الارض ومن مجموع الكواكب السيارة عدة قواعد اصلية ينبغي ذكرها هنا ليتفرع عليها البيان الآتي فنقول (اولا) اذا لم يعرض الجسم الساكن شئ يحركه فانه يستمر على سكونه لانه في هذه الحالة لا تقتضي لحركته في جهة ما فعلى ذلك اذا اتصف الجسم بالحركة بعد السكون فلا بد أن يكون قد عرض له سبب اوجب تحركه الى احدى الجهات وهذا العارض هو المسمى بالقوة والغرض الاصل من علم الميكانيكا هو معرفة كيفية تأثير القوى في الاجسام المنفردة او المرتبطة ببعضها بالنظر لاوزاعها وصورها

(ثانيا) اذا اخذ جسم في التحرك في اتجاه ما بسرعة ما فاذا لم يكن هناك ما يمنع تحركه استمر على الحركة في هذا الاتجاه مع السرعة المذكورة بمعنى انه يقطع مسافات متساوية في ازمدة متساوية وهذا ما يسمى بالتحرك المنتظم او المنتسق

ومتى غير هذا الجسم اتجاهه او سرعته فان التجربة تدل على ان هذا التغير حاصل من تأثير موافق او مخالف واقع من قوة جديدة

وكذلك اذا كان الجسم الجامد العادم للحركة غير قابل للتحرك فانه يعلم من ذلك انه لا يقبل الحركة بجمال فعلى ذلك اذا كان الجسم الجامد متحركا فانه يستمر على حركته بمعنى انه يقطع في اتجاه واحد مسافات متساوية في زمن واحد * والسرعة هي النسبة التي بين المسافة المقطوعة والزمن

مثلا اذا جعلت الدقيقة وحدة الزمن والمتر وحدة الطول يقال ان الجسم الذي يقطع مترا في دقيقة واحدة يتحرك بسرعة ١ والجسم الذي يقطع مترين في دقيقة واحدة يتحرك بسرعة ٢ والجسم الذي يقطع ثلاثة امتار في دقيقة واحدة يتحرك بسرعة ٣ وهكذا

وقد دلت التجربة ايضا على دعوى اخرى شهيرة جدا وهي انه يحدث عن قوتين واقعتين على جسم واحد في اتجاه واحد (كفرسين مربوطين في قطار واحد بجزء حربة مثلا) عين التأثير الحادث من قوة واحدة مساوية لمجموع هاتين القوتين واقعة على الجسم المذكور في اتجاه واحد ايضا وهذه القوة هي التي يطلق عليها اسم المحصلة لانها متصلة من قوتين اخريين يسريان بالركبتين اولانه يتصل منها عين النتيجة للمحصلة من هاتين المركبتين واما في صورة العكس وهي ما اذا كان قوتان واقعتين على جسم واحد في اتجاه واحد لـكن في جهتين متضادتين فان الجسم يتحرك كـالو كان مندفعاً بقوة واحدة محصلة مساوية لفاضل القوتين المركبتين وموجهة الى جهة كبراهما

وعلى ذلك يشاهدان العريجية عند الهبوط بالسرعة يحاولان القرس من أمام العربية ويربطونه خلفها ليبرزها التهورى وفي هذه الصورة لا تكون القوة المحركة الا كقوة قرس آخر يجرها الى الامام ناقصة قوة القرس الذي يجرها الى الخلف عوضا عن أن تكون هذه القوة اعنى المحركة قوة فرسين

* (بيان التوازن) *

اذا كانت القوة الجاذبة الى جهة الخلف مساوية للقوة الجاذبة الى جهة الامام فان فاضلهما يكون صفرا ولا يتحرك الجسم الى جهة احدهما ولا الى جهة الاخرى ومن ذلك يحدث ما يسمى بالتوازن اعنى بالسكون القهرى وهي حالة مخالفة للسكون الطبيعى الذى يكون باقيا على حالة واحدة مالم يؤثر في الجسم قوة تغيره على التحرك

فاذا كانت محصلة عدة قوى يضادها قوة جديدة مساوية كلها وموجهة الى جهة مضادة لجهتها فانه يحدث من ذلك توازن وهذه قاعدة شهيرة جيدة تسوغ ضم المسائل التي يكون الغرض منها البحث عن النتائج التي يحدث بها التحرك الى مسائل التوازن

وعوضا عن اعتبار قوتين مؤثرتين دون غيرهما في اتجاه واحد يمكن

اعتبار ٣ او ٤ او ٥ الخ او عددا من القوى وحيتث يلزم لاجل
تقصيل المحصلة امران احدهما اخذ مجموع سائر القوى التي تجذب او تدفع
الى جهة الامام ثانيهما اخذ مجموع سائر القوى التي تجذب او تدفع الى جهة
الخلف وبذلك يتحرك الجسم في جهة المجموع الاكبر كما يكون مدفوعا
او مجذوبا بقوة واحدة مساوية لقاضل هذين المجموعين

(ولنفرض مثلا عربة جل محمولة بثمانية افراس في قطار واحد في كانت جميع
هذه الافراس مربوطة كلها اجهة الامام فان العربة تكون محمولة بقوة فرس
واحد مساوية لقوة الافراس الثمانية ثم اذا حل العريبي ثلاثة من هذه
الافراس مثلا وربطها خلف العربة لتجرها التهورى فان التحرك الكلى
يكون اولا حين ما اذا كان هناك فرس واحد مربوط في جهة الامام قوته
مساوية لقوة الافراس الخمسة وفرس آخر مربوط في جهة الخلف قوته
مساوية لقوة الافراس الثلاثة المذكورة وثانيا يكون مساويا ايضا
للتحرك الحادث من فرس واحد قوته مساوية لقاضل الافراس الخمسة
المربوطة في جهة الامام والثلاثة المربوطة في جهة الخلف وهذا التحرك
بالضرورة يكون واقعا في جهة خمسة الافراس اذا كانت قوتها متساوية
وما ينبغي حقله والاهتمام به قاعدة نالتة وهي ان لازم قوة ما التحرك جسم
بسرعة ما اعنى لتقله الى مسافة معلومة في زمن معلوم فتصف هذه القوة
لا يتقل الجسم المذكور في هذا الزمن الا الى نصف المسافة المذكورة
وثم لا يتقله الا الى ثلثها وربعها لا يتقله الا الى ربعها وهكذا دائما مع تناسب
واحد

وكذلك في صورة العكس وهي ما اذا كانت مدة الزمن ثابتة بالقرض فان
ضعف القوة يتقل الجسم المتقدم الى ضعف المسافة المتقدمة وثلاثة امثال
هذه القوة تتقله الى ثلاثة امثال المسافة واربعة امثالها تتقله الى اربعة امثالها
وهلم جرا

فاذا بقيت القوة ثابتة وتغير مجسم الجسم نشأ عن ذلك ما سنذكره

وهو انه في مدة هذا الزمن تنقل القوة الثابتة ضعف الجسم الى نصف المسافة وتنقل ثلاثة امثال الجسم الى ثلث المسافة واربعة امثال الجسم الى رابعها وهكذا وكذلك تنقل القوة الثابتة نصف الجسم الى ضعف المسافة وثلاثة امثالها واربعه الى اربعة امثالها في نسبة واحدة دائما

ويؤخذ من ذلك ان الجسومات الكبيرة اصعب في التحرك من الجسومات الصغيرة وهذه المقاومة مناسبة للجسم تناسبيا مضبوطا بحيث تكون المقاومة مع القوة المستعملة في التحرك لاجل واحد مناسبة للجسم دائما
وحينئذ يوجد في المادة تضاد بين التحرك والسرعة وهو مناسب للجسم وهذا التضاد الذي ينبغي ابطاله هو المسمى بالانرسى (اي الحالة الذاتية للجسم)

ويكون الانرسى المذكور في غاية الظهور عند مقابلة الجهود التي تبذل في تحريك الاجسام الكبيرة والصغيرة ببعضها وذلك ان الطفل الصغير مثلا يحذف بعيدا عنه بعدا كافيا حصوة صغيرة وجبات من الرمل بخلاف الرجال الاقوياء فانه يمكنهم عند جمع قواهم في زمن واحد ان يهزكوا بقيراط واحد جلا ثقيل او قطعة من الرخام مثلا
ولننبه هنا على الكيفية القطعية التي بها يمكن ان تفصل من القوة نتيجة واحدة بطرق مختلفة فنقول

يمكن قطع الجسم المطلوب نقله الى اجزائه متساوية كاثنتين او ٣ او ٤ الخ ثم توقع القوة بتمامها على كل من هذه الاجزاء فاذا قطع الى جزئين متساويين مثلا فان كلا منهما يتحمل بسرعة مضعفة فاذا كان الجسم المذكور ان ينقل في زمن واحد كلي فاذا قطع الى ثلاثة اجزاء متساوية فان كل ثلث يتحمل بثلاثة امثال السرعة فاذا كانت تكون الاثلاث الثلاثة منقولة في نفس الزمن الكلي وهكذا

فاذا فرض حينئذ ان هنالك عشرين جلا متساوية في الجسم ولزم نقل كل منها

الى مسافة معلومة بواسطة ٢٠ قوة متساوية فاذا وصلت هذه الاجمال
بعضها مئتي وقلت بقوى متصلة ببعضها مئتي ايضا فانه يحدث للثقل ١٠
طرق هوذا عن ٢٠ الا ان العشرين جسما تكون منقولة دائما الى مسافة
واحدة في زمن واحد وقد يحصل مثل ذلك ايضا اذا وصلت الاجمال ببعضها
ثلاث اى ثلاثة ثلاثة اورد باع اى اربعة اربعة وقلت بالقوى المتصلة ببعضها
ثلاث اورد باع ايضا

فلذلك كان على حد سواء (بالنظر الى التقويم الميكانيكى) قل الثقل الكلى
المذكور في عربات فرس واحد او ٢ او ٣ او ٤ بشرط أن تكون
اجمالها يكمل فرس او ٢ او ٣ او ٤ الخ ويكون الثقل الكلى
منقولاً دائماً بواسطة العربات الى مسافة واحدة في زمن واحد وهذا هو
سبب كون الثقالين يدفعون اجرة معينة بالكيلوغرام في نظير الثقل سواء كان
الجلين زن قليلا وكثيرا من الكيلوغرام لان القوة الكلية التى يلزم استعمالها
في النقل مناسبة للثقل الكلى من الاشياء المنقولة وبالجملة فهذا هو السبب
في ان الثقالين ~~ص~~ كانوا يدفعون للعر بيعة اجرة واحدة على حسب تقويم
الكيلوغرام سواء كان العر بيعة يستعملون في ذلك عربات فرس واحد
او ٢ او ٣ او ٤ الخ لان الثقل الكلى المنقول بكل عربة مناسب
للقوة الكلية للخيول المربوطة في العربة

ولاجل تحصيل تصرف القوى التى يستازمها الجسم المنقول الى مسافة
معلومة يلزم تقويم هذا التصرف أولا بموجب ثقل الجسم المذكور وثانيا
بموجب السرعة المعتدة لقطع المسافة المذكورة فيكون حاصل هذا التقويم
دالا على كمية التحرك

وقد يتقوم الثقل بالكيلوغرامات والزمن بالساعات فاذا كان كيلوغرام
واحد يقطع المسافة الماخوذة وحدة واحدة في ساعة واحدة كانت كمية التحرك = ١
واذا كان ١٠ كيلوغرامات او ١٠٠ او ١٠٠٠ تقطع وحدة
المسافة في ساعة واحدة فانها تؤدى كمية التحرك المينة مرة واحدة

باعداد ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ الخ
 واذا كان كيلوغرام ١ او ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ الخ تقطع
 المسافة مرتين في ساعة واحدة فانها تؤدى كمية التحرك المينة مرتين باعداد
 ١ او ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ الخ من الكيلوغرام
 وانما اكثرت هنا من ذكر الامثلة لما انها توضع ايضا حا اصلها التعريفات
 التي ينبغي تسهيلها بقدر الامكان
 ولتسلكم قبل التوغل فيما نحن بصدده على قوانين السكون والتحرك التي سبق
 تعريفها قريسا ونذكرها على وجه اجمال فنقول
 كل جسم ساكن يبقى على حاله ما لم تجبره على التحرك قوة واحدة او قوى
 متعددة

وكل جسم متحرك يبقى على حاله ما لم تعرض له قوة تمنعه من الحركة
 وكل جسم متحرك تابع لمستقيم واحد يقطع مسافات متساوية في ازمته
 متساوية ما لم تعرض له قوة اجنبية تغير ثبات تحركه واتظامه وهذا التحرك
 هو المسمى بالتحرك المنتظم او المنتسق
 والسرعة هي النسبة الحاصلة بين المسافة المقطوعة على وجه الانتظام
 وزمن قطعها

فاذا كان زمن قطع المسافة ثابتا فالسرعة المضمضة متنى وثلاث ورباع تكون
 كالسافة وقد تكون ايضا على النصف او الثلث او الربع ونحو ذلك بحسب
 تقسيم هذا الزمن وبالجمله فهي مناسبة دائما للمسافة تناسباً مطردا
 واذا كانت المسافة المقطوعة ثابتة فكلما كان زمن قطعها كبيرا كانت
 السرعة صغيرة وحيث تكون نسبتها معكسة انعكاسا كليا بمعنى انه اذا كان
 الزمن مضاعفا متنى وثلاث ورباع كانت السرعة على النصف من ذلك او الثلث
 او الربع وهكذا

واذا كانت السرعة ثابتة فالمسافة المقطوعة تكون مناسبة للزمن تناسباً
 مطردا بمعنى انها تزيد وتقص بنسبة واحدة

وفي التحرك المنتظم تكون القوة مناسبة لجسم الجسم مضروبا في السرعة
 وإذا تحركت الاجسام بدون مقاومة فن حيث كونها متحركة في فراغ عظيم
 تكون باقولة دفعة مستمرة على تحركها بسرعة واحدة في اتجاه واحد
 ولكن يعرض على الارض في كل وقت كثير من الموانع والاحتكاكات
 والمقاومات فتتغير دوام تحرك تلك الاجسام
 فاذا تحرك الجسم تحركا ما نجد ان هذا التحرك يتقص بالتدريج ويؤول
 امره الى الانعدام
 مثلا اذا لعب انسان بالكرة فلو لا احتكاك الارض ومقاومة الهواء لكانت
 هذه الكرة بمجرد طرحها على مستواقي تتدحرج بدون أن تنقص سرعتها
 لكن لا يخفى ان هذه السرعة تنقص على المستويات المصقولة وان بلغت
 في الصقالة ما بلغت وتعدم في اسرع وقت
 وعليه فيلزم لاجل استمرار التحرك بالنسبة للفن أن يضاف في كل وقت
 الى قوة الاجسام المتحركة قوى جديدة
 مثلا اذا كان المطلوب قل احوال في الطرق فلا يكفي في ذلك أن تحرك
 هذا الاجسام مطلق تحرك بل يلزم تعويض ما انعدم بالمقاومات في كل وقت
 وهو الذي يمكن تحصيله بواسطة الناس والحيوانات المعدة لجز تلك الاحمال
 وتكون كية القوى التي يلزم استعمالها في كل وقت مساوية بدهاء للقوة
 المعدومة في الوقت المذكور وينبغي أن نعتبر أن مجموع ازدياد القوى المستعملة
 في النقل عقب زمن معلوم مساو لمجموع القوى المعدومة بالمقاومات
 فعلى ذلك اذا مشى انسان بقوة مستمرة ز منا معلوما فمجموع القوى
 المستعملة في هذا الزمن يكون دالا على مجموع القوى المعدومة
 ويؤخذ من ذلك ان تصرف القوى يكون على حسب المسافة في الكبر
 فاذا كان التحرك منتظما من جميع جهاته كانت القوى المستعملة لتحصيلة
 في زمن معلوم مناسبة لهذا الزمن تناسباً مطردا
 ولننبه حيث تد على الفاضل الغافي الحاصل من جهة بين التحركات التي يمكن

وجودها في الفراغ بدون نوع قامن الاحتكاك والحاصل من جهة أخرى
بين التصرّكات الحادثة منا على الأرض فنقول إذا اردنا معرفة مسافة سير
الكواكب السيارة او ذوات الذنب او أي جرم في السماء وكان هذا التصرّك حاصلًا
بنفسه فانه يكفي اخذ زنه هذه الكواكب السيارة او ذوات الذنب او الجرم
المذكور لاجل ضرب ثقل ذلك في السرعة ويكون الحاصل باقيا على حالة
واحدة في أي مسافة للتقلل لانه لا يحتاج الى صرف قوى جديدة لاجل استمرار
التقلل المذكور الا انه في الأرض ينبغي أن يضاف الى هذا المجموع الاول
على الأرض مجموع آخر يدل على القوى المدومة في كل وقت فاذا اخذ
هذا المجموع الاخير في الازدياد دائما فانه يفوق المجموع الاول حتى يمكن
اهماله وحيث يقال كما يقول متعهدو النقل ان اجرة التقلل تكون مناسبة
للمسافات المقطوعة ما لم يكن هناك مانع وليست هذه المعونات خاصة
بالتقلل بل نعمه هو واغلب ما يعرض للاكلات من التصرّكات الناشئة عن القوى
المتنوعة وميأتي لك توضيح ذلك خصوصا في الجزء الثالث من هذا الكتاب
عند الكلام على استعمال القوى المحركة

وقد ذكرنا ان القوة المنفردة دون غيرها من القوى تحدث التصرّك دفعة
واحدة لجسم معلوم ولنفرض ان هذه القوة بتعدد تأثيرها في خلال الازمنة
المساوية

ولنرمز بحرف $هـ$ الى المسافة المقطوعة بالجسم وبحرف $ق$ الى سرعة
هذا الجسم وبحرف $ط$ الى الزمن المعدل لقطع مسافة $هـ$ بسرعة $ق$
وفي مبدء وحدة الزمن الثانية تضعف القوة التي تكرر فعلها سرعة الجسم
من ثلثي فيقطع في مسافة زمن $ط$ الثاني مسافة تساوي $٢ هـ$
وفي مبدء وحدة الزمن الثالثة تضعف القوى التي تكرر فعلها ايضا
سرعة الجسم ثلاث فيقطع في مسافة زمن $ط$ الثالث مسافة تساوي $٣ هـ$
وهلم جرا

فاذن يحدث معنا للاوقات المختلفة

زمن ط الاول زمن ط الثاني زمن ط الثالث زمن ط الرابع زمن ط المهني
سرعة مكسبة ١ سرعة مكسبة ٢ سرعة مكسبة ٣ سرعة مكسبة ٤ سرعة مكسبة ٥
مسافة مقطوعة ه مسافة مقطوعة ه مسافة مقطوعة ه مسافة مقطوعة ه مسافة مقطوعة ه

فيكون مجموع المسافات التي عددها م المقطوعة بالجسم في زمن ط
تساوي بالبداية

ه + ه + ه + ه + ه + ٠٠٠ + م ه
ولامانع من استعمال الهندسة هنا ليتضح باحد اشكالها هذه الخواص
النسوبة للقوى فنقول

ليكن (شكل ١) مستقيم وس الرأسي مقسوما الى مسافات
متساوية تدل كل واحدة منها على وحدة زمن ط ومستقيم وص
الافقي مقسوما ايضا الى مسافات متساوية تدل كل واحدة منها على مسافة
ه المقطوعة مدة زمن ط الاول فاذا وصلنا بين نقط التقسيم بمستقيمات
اقبية ورأسية حدث عن ذلك سلام طول كل واحدة منها مسافات ه
و ه و ه و ه و ه الخ المقطوعة في مدة الازمنة المتوالية
المساوية لزمن ط ويكون سطح درجاتها المختلفة

وا × ه و اب × ه و بث × ه و ثد × ه الخ
لكن حيث كان وا = اب = بث = ثد فاذا فرضنا
بمرض جميع الدرج مساويا لوحدة يكون سطح الدرج
بالاختصار

ه و ه و ه و ه و ه الخ
وسطح السلام الكلي يدل على المسافة الكلية المقطوعة بالجسم
ولنفرض ان القوة الدافعة تؤول الى نصفها الا انها تضعف عدد دفعاتها

في زمن معلوم

ويحفظ وحدة الامتداد لا تكون درجات السلال الجديدة (شكل ٢) التي تدل على هذا التحرك الجديد الانصف العرض وتصبح ضعف السلال المتقدمة وكذلك لا يكون للمسافات المقطوعة في كل نصف زمن الانصف الزيادة الاصلية غير ان هذه الزيادة تكون ضعف الزيادة السابقة

ويمكن أن يفرض ان القوة الدافعة تكون محولة الى ثلث مقدارها الاصلى اربعة (شكل ٣) او خمسة الخ لكن بتجديد دفعاتها ثلاث مرات او اربعا وخمسا الخ بخلاف القوة الاصلية فانها لا تتجدد الدفعات المذكورة الا مرة واحدة وحيث تكون التحركات مبنية بدرجات عرضها محول الى ثلث العرض الاصلى اربعة او خمسة الخ ولا يكون ازدياد طولها الا ثلث الازدياد الاصلى اربعة او خمسة الخ

فاذا مددنا مستقيم $وز$ من رأس السلال الى نهايتها السفلى فانه يمر بجميع نقط ١ ١ ب ٢ ٣ ٤ د الخ التي تحدّد اسفل درجات السلال وعلى ذلك تكون المسافات المقطوعة عقب ازمنة

$$\begin{array}{ccccccc} \overline{ط} & \text{و} & \overline{٢ ط} & \text{و} & \overline{٣ ط} & \text{و} & \overline{٤ ط} \\ \overline{ا} & \text{و} & \overline{ب} & \text{و} & \overline{ج} & \text{و} & \overline{د} \end{array}$$

ثم ان نسبة اضلاع $وا$ اذن لا تتغير متى اخذ نصف ضلع $وا$ $= ط$ ونصف ضلع $اے = هـ$ وثلث $وا$ وثلث $اے$ وربع $وا$ وربع $اے$ لاجل عل سلال (شكل ٢) (شكل ٣) الدالين على التحركات التي تقدم ذكرها

ولا يتغير اتجاه $وا$ و $ب$ و $ج$ و $د$ الخ متى فرض اتقاص مقدار القوة في نسبة واحدة مع كثرة دفعاتها مدة زمن معلوم فاذا تكثر الدفعات وكانت القوة صغيرة جدا في كل دفعة واقضى الحال اتسام $وا = ط$ و $اے = هـ$ الى اجزاء متساوية دقيقة جدا فان وجهة سلال ١ ١ ب ٢ و ٣ ج و ٤ د الخ

(شكل ١) تكون مستقيما واحدا كستيم $\overline{وز}$ بحسب النظر (شكل ٤)
 وحيث كان سطح سلام $\overline{وا ٢ ١ ١ ب}$ الخ $\overline{زس}$ دالا على المسافة
 الكلية المقطوعة بالجسم مدة الزمن المين بخط $\overline{وس}$ يكون في هذه الحالة
 سطحا مثلث $\overline{وس ز}$ (شكل ٤)

وحيث ان السرعة مناسبة للمسافة المقسومة على الزمن (المجموع هنا واحدة)
 فان اطوال درجات $\overline{ا ٢}$ و $\overline{ب ١}$ و $\overline{ث ١}$ تكون دالة
 على السرعة المتعددة المكتسبة من الجسم عقب زمن مساو لكل من $\overline{ا ط}$
 و $\overline{ب ط}$ و $\overline{ث ط}$ الخ

فاذن تكون هذه السرعة باقية على حالة واحدة عقب زمن واحد بفرض ان
 القوة المؤثرة الى $\frac{1}{4}$ و $\frac{1}{3}$ و $\frac{1}{2}$ و $\frac{1}{5}$ الخ
 تؤثر في الجسم مرتين او ٣ او ٤ او ٥ الخ بخلاف القوة الاصلية
 فانها لا تؤثر فيه الا مرة واحدة

واذا كان عدد اللدفعات عظيما جدا مدة زمن معلوم وكان لا يمكن تمييزها
 بسبب تغير السرعة المتعددة على حين غفلة فان مستقيم $\overline{وز}$ (شكل ٤)
 و (شكل ٥) يدل كما ذكر على السرعة المكتسبة متى دل $\overline{وس}$ على الازمنة
 الماضية و سطح السلام الذي يكون حينئذ سطح مثلث $\overline{وس ز}$ يدل على
 المسافات المقطوعة وبناء على ذلك تكون السرعة المكتسبة مينة بطول
 $\overline{س ز}$ وكذلك المسافة المقطوعة تكون مينة ب سطح $\overline{وس ز}$ وذلك
 عقب الزمن المرموز اليه بخط $\overline{وس}$

فاذا رمزنا بحرف $\overline{ط}$ و $\overline{ط}$ الى الزمنين المينين بخطى $\overline{وس}$
 و $\overline{وس}$ (شكل ٥) ورمزنا بحرفي $\overline{ق}$ و $\overline{ق}$ الى سرعتين
 المينتين بخطى $\overline{س ز}$ و $\overline{س ز}$ ثم بحرفي $\overline{هـ}$ و $\overline{هـ}$ الى المسافتين
 المينتين ب سطح مثلثي $\overline{وس ز}$ و $\overline{وس ز}$ فانه يحدث عن ذلك

$$\overline{وس} : \overline{وس} :: \overline{س ز} : \overline{س ز}$$

$$\text{او } \overline{ط} : \overline{ط} :: \overline{ق} : \overline{ق}$$

وحيثئذ تكون في التحرك المعبر عندنا $ق$ و $ق$ المكتسبتان

عقب زمني $ط$ و $ط$ مناسبين لهذين الزمنين

وزيادة على ذلك بمقتضى الدرس الخامس من الهندسة يكون

سطح $وسز$: سطح $وسز$:: $وسه$: $وس$

او $ه$: $ه$:: $ط$: $ط$

فاذن تكون المسافات مناسبة لمربعات الازمنة المقتطعة

وعليه فيقال حيث كانت الازمنة $١ط$ و $٢ط$ و $٣ط$ و $٤ط$ و $٥ط$ و $٦ط$ الخ

فان المسافات المقطوعة تكون $١ه$ و $٤ه$ و $٩ه$ و $١٦ه$ و $٢٥ه$ و $٣٦ه$ الخ

وحيث كان في مثلث $وسز$ و $وسز$ المتساويين

سطح $وسز$: سطح $وسز$:: $مزز$: $سز$

او $ه$: $ه$:: $ق$: $ق$

فالمسافات المقطوعة في ازمة معلومة تكون حيثئذ مناسبة لمربعات السرعة

المتعددة المكتسبة في نهاية هذه الازمنة

وبناء على ذلك

ففي عقب ازمة $١ط$ و $٢ط$ و $٣ط$ و $٤ط$ و $٥ط$ و $٦ط$ الخ

تكون السرعة المكتسبة $١ق$ و $٢ق$ و $٣ق$ و $٤ق$ و $٥ق$ و $٦ق$ الخ

والمسافات المقطوعة $١ه$ و $٤ه$ و $٩ه$ و $١٦ه$ و $٢٥ه$ و $٣٦ه$ الخ

فاذا فرض انه في عقب زمن $ط$ المين بخط $وس$ (شكل ٥)

يطل عمل القوة الدافعة من اول وهلة فان الجسم يتحرك بسرعة $ق$ الثابتة

المينة بخط $سز$ وحيثئذ تكون الخطوط الاقية المتساوية وهي $سز$

$= سز = سز$ دالة على هذه السرعة الثابتة

وسطح مثلث $وسز$ يدل على المسافة الكلية المقطوعة مدّة زمن $ط$

بعده قوى دافعة صغيرة جدًا تأثيرها ثابت على الدوام

وسطح مستطيل $سز زس$ الذي هو ضعف مثلث $وسز$ يدل

على المسافة الكلية المقطوعة مدة زمن ثان مرمره بحرف ط بسرعة
 ثابتة مكسبة عقب زمن ط الاول
 وعلى ذلك اذا جددت قوة ثابتة صغيرة جدا دفعاتها في مسافات صغيرة متخللة
 بين ازمنة متساوية فان المسافة الكلية التي قطعها الجسم بتلك القوة في مدة
 زمن ط تكون نصف المسافة التي كان يقطعها هذا الجسم في نفس زمن ط
 لولم تجدد القوة المذكورة دفعاتها

(بيان التناقل)

قد دلت الطبيعة على مثال عظيم متعلق بالتكرار المستمر الحاصل من القوة
 المدافعة الثابتة وهي ان جميع الاجسام انجذبا باميل الى مركز الارض فتكون
 القوة المذكورة محسومة متى منعت عن جذب الجسم المطلوب ثقله وتكون قوة
 التناقل في كل وقت معدومة بمقاومة الجسم ثم تتجدد ثانيا وثالثا بعد آخر
 بتأثير مستمر واحد

وعليه لجميع النتائج المتحصلة بواسطة القوى التي تجدد دفعاتها كل وقت
 توافق ايضا قوة التناقل

وحية تذ اذا سقط جسم بدون معارض ولا مانع حدث عن ذلك اربع حالات
 (اولا) ان السرعة المكررة المكسبة تكون مناسبة للازمنة المعدة
 لاكتسابها

(ثانيا) ان المسافات الكلية التي يقطعها الجسم المذكور تكون مناسبة
 لمربعات الازمنة المعدة لقطعها

(ثالثا) ان تلك المسافات الكلية المقطوعة تكون مناسبة لمربعات السرعة
 المكررة المكسبة بالجسم عقب كل مسافة مقطوعة

(رابعا) اذا اخذ الجسم عقب زمن معلوم مرة ثابتة مساوية للسرعة التي
 اكتسبها في هذا الزمن بعينه فانه يقطع مسافة كلية ضعف المسافة التي قطعها
 وذلك مع ازدياد سرعته بالتدريج

وفي اي مكان من الارض تكون المسافة التي يقطعها الجسم عند سقوطه

في اول ثانية مساوية ٩٠٤٣٩٧٥ ر^٢ فلا مانع حينئذ من ان سرعته المكتسبة في عقب الثانية تجبره على قطع ضعف تلك المسافة مع الانتظام

بمعنى انها تكون مساوية ٨٠٨٧٩٥ ر^٢ في الثانية الواحدة وفي عقب ١٠ نوان تكون المسافة التي يقطعها الجسم عند وقوعه بدون معارض مساوية ١٠٠ مرة للمسافة التي يقطعها مدة الثانية الواحدة اي انها تساوي ٩٠٤٣٩٧٥ ر^٢ وتساوي ايضا في الدقيقة الواحدة

١٧٦٥٥٠٨٣١ ر^٢

ولا بد للاجسام الساقطة من شئ عظيم تصل به سرعتها الى هذه الدرجة وذلك لمقاومة الهواء لها (كاسياني في استعمال القوى المحركة المذكورة في الجزء الثالث)

* (تطبيق) *

اذا لم تكن المسافات المعدة للقطع كبيرة جدا واستعملت اجسام كبيرة جدا فانه يمكن بواسطة الالة الحسائية الدالة على اجناس الثانية الواحدة قياس عمق البئر وارتفاع الحائط والقبعة ونحو ذلك قياسا تقريرا مستعملا فاذا خلى الجسم ونفسه للوقوع وعدت التوائى وكسورها التي يقطع بها الجسم المذكور

هذه المسافة فان مربع هذا العدد يضرب في ٩٠٤ ر^٢ الخ ويكون حاصل ذلك هو المسافة المقطوعة

ولننبه على ما بين الهندسة والميكانيكا من الارتباط الذي يعلم به ارتفاع عمارة او عمق معدن بواسطة النظر في الساعة ويعلم به ايضا طول زمن مضى بواسطة قياس المسافة قياسا بسيطا فنقول قد استبان من الهندولات مثال شهير في شأن الارتباط الحاصل بين العليين المذكورين اللذين جعلت قواعدهما وتساخجها لتتضح بها سبل الصناعة وتسهل مزاوتها

فاذا عرفت ما ذكره لك في شأن تأثير ايدي الاهوان وآلات الدق وضرب

التقود والمطارق ونحو ذلك انضح لك انهم توصلوا بواسطة الثنون الى تطبيق
قوانين سقوط الاجسام وتوسيع دائرتها والاهتمام بشأنها تطبيقا مفيدا
وان معرفة هذه القوانين مما لا بد منه
ولنفرض انه حين شروع التناقل في امدفاعاته المتكررة كل وقت يكتسب
الجسم معرفة ما وفي ذلك ثلاث صور

الصورة الاولى اذا كانت السرعة الاصلية متجهة جهة التناقل فحيث كانت
ثابتة فانها تنضم الى السرعة المتعددة الحادثة من التناقل المذكور
وفي هذه الصورة يطلق على التناقل بالنظر للاجسام التي تزداد سرعتها وتسير
مع المحلة في كل وقت اسم القوة المحجلة

الصورة الثانية اذا كانت السرعة الاصلية متجهة الى جهة مضادة لجهة
التناقل فان هذا التناقل ينقص السرعة المذكورة في كل وقت وحيث كان
التناقل المذكور يعطل سير الجسم بلا انقطاع اطلق عليه اسم القوة المعطلة
البيئية

مثلا اذا اطلقنا طليقة من اعلى الى اسفل فان الرصاصة الخارجة منها تقع
في مبداء الامر بالسرعة الحادثة لها من البارود المشتعل ثم تزداد هذه السرعة
بتأثيرات التناقل المتكررة المشابهة لتأثير القوة المحجلة

واذا اطلقنا طليقة من اسفل الى اعلى فان الرصاصة ترتفع في مبداء الامر بالسرعة
الحادثة لها من البارود المشتعل غير ان تحركها يعطل في كل وقت بما يحدث
عن التناقل من التأثير المتجدد المشابه لتأثير القوة المعطلة

وفي عقب زمن ايا كان تبطل سرعة الرصاصة الاصلية بتأثير التناقل المتضاد
فتمكث هذه الرصاصة ساكنة زمنا ثم تهبط بتأثير التناقل من الوضع الذي كانت
فيه وهي ساكنة ويستمر التناقل على ذلك كقوة محجلة

وفي هذا التحرك الجديد تزيد قوة التناقل في كل وقت بكمية من التأثير مساوية
بالضبط للكمية المنقوصة مدة صعود الرصاصة وعليه ففي مدة الزمن
المذكورة تقطع الرصاصة مسافات متساوية قبل الوقت الذي تصل فيه

الى اقصى درجة من الارتفاع وكذلك بعده سواء كانت صاعدة اوهابطة
وتكون معصوبة دائماً بسرعتها المكسبية اذا وصلت الى ارتفاع واحد
سواء كانت صاعدة اوهابطة ايضا

ويجب حفظ ما ذكرناه لانه من اعظم قواعد علم الميكانيكافائدة وسياى لك
مايدل على اهمية تطبيقاتها المتعددة على الصناعة

والسرعة المعدومة بالرصاصة الصاعدة مناسبة للزمن الماضى منذ اطلاقها
وتقصان المسافة المقطوعة بالرصاصة المذكورة مناسب لربع هذا الزمن

والسرعة المكسبية بالرصاصة الهابطة مناسبة للزمن الماضى منذ شروعها
في الهبوط والمسافة المقطوعة بالرصاصة المذكورة بواسطة الشاغل مناسبة
لربع هذا الزمن

وتطلق القوى البسيطة على القوى التى لا تؤثر في الجسم الامرة واحدة
وبها تكون المسافات المقطوعة مناسبة للسرعة الثابتة المتعددة
وتطلق القوى النشاطية على القوى المجعلة اوالمعطلة التى يكون قيامها معلوما
من مربع السرعة المكسبية المتعددة

واى وضع وجدفيه الجسم مدفوعا بى سرعة كانت فانه اذا هبط مدة زمن ط
اكتسب سرعة v المناسبة لزمن ط المذكور وعليه اذا كان m رمزا
لجسم هذا الجسم فانه يكتسب كمية من التحرك تساوى $m \times v$ وهذه
الكمية هى مقدار القوة النشاطية من m

فاذا اوقفنا جسما ليكتسب قوة v كن استعمالها فيما بعد في اشغال الصناعة
فانه يستدل على كمية القوى التى يجمعها بضرب مجسمه في سرعته المكسبية
وذلك في عقب

١, ٢, ٣, ٤ . . . الخ من التوائى

١, ٤, ٩, ١٦ . . . الخ $m \times ٨٠٨٧٩٥$

فاذا اخذت هذا المقدار من الشمال الى اليمين ادت الجسم الهابط لقوة النشاطية

المتزايدة وإذا أخذتها من اليدين إلى الشمال أدت الجسم الصاعد القوة النشاطية المتناقصة

والفاضل بين هذه القوى هو عين الفاضل بين الارتفاعات سواء كانت القوى المذكورة صاعدة أوهابطة

وحينئذ إذا وقع جسم بدون معارض بقوة نشاطية مكتسبة من ابتداء نقطة **أ** إلى نقطة **ب** أو حذف هذا الجسم من أسفل إلى أعلى بالقوة المذكورة فإنه يرتفع من **ب** إلى **أ** قبل أن تبطل قوة التناقل المعطلة جميع ما تحصل منها في مبدئه الأمر عند تنزيلها للجسم المذكور

ومن ثم يعلم أنه لا يمكن استخراج فائدة من القوة المكتسبة بالجسم الهابط ليصعد بها أعلى من نقطة مبدئه سيره ولا من القوة للمعدومة بالجسم الصاعد لترد بقوة بواسطه سقوطه إذا اقتضى الحال رجوعه إلى نقطة مبدئه سيره وهذه الحقائق في غاية السهولة ومع ذلك إذا فطن إلى العقل حاد بها عن الوقوع في الاختلاطات والتراكيب القاسدة والمباحث الخالية عن الفائدة المتعلقة بالتحرك الدائم

فإذا كان هناك جسم ساكن ووقع عليه تأثير الهواء كان هذا التأثير قوة دافعة له تتباعد دائماً حتى يكتسب سرعة مساوية لسرعة الهواء المذكور لكن كلما اكتسب الجسم المذكور سرعة أكبر من الأولى حصل له من الهواء دفعة غير قوية وعليه ففي هذه الحالة لا تكون القوة المعجلة ثابتة وكذلك لا تكون القوانين المحكمة المنظمة للنب الزمن مع السرعة المتكررة والمسافات المقطوعة أسهل من القوانين التي ذكرناها وينطبقها على التناقل

(وسياً في أن قوة التناقل لا تكون ثابتة على أبعاد متنوعة من مركز الأرض) وإذا فرضنا أن جسمًا يتحرك في الهواء الساكن أو في اتجاه مضاد لاتجاه الهواء فإنه بمجرد ازدياد سرعته يحصل له من الهواء مقاومة متزايدة وعليه فلا يكون الهواء مؤثراً كالقوة المعطلة الثابتة قط بل يكون مؤثراً كالقوة المعطلة المتزايدة

وسياتى لهذه الملاحظات التي ذكرناها هنا على وجه اجمال مزيد توضيح عند تعريف طبيعة قوة الهواء الخاصة وبيان تطبيقها على الصناعة (في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند ذكر القوى المحركة المطبقة على الصناعة) هذا ولم يبق علينا الا الصورة الثالثة ولتذكرها هنا فنقول ان هذه الصورة هي التي تكون فيها القوة الاصلية متجهة الى جهة مخالفة لتأثير القوى المجلة او المعطلة وحينئذ لا يقطع الجسم خطا مستقيما وانما يرسم منحنيًا تكون خاصيته واختلافه على حسب تأثير القوى المجلة او المعطلة وشدة تلك القوى ولانذكر هنا الا قوتين وهما قوة الهواء وقوة التفاعل اللتان يؤثران في تحريك الاجسام سرعة او بطا واما الصناعة فيستعمل فيها بجلة عكسية من القوى الاخرى لانها تبطل مقاومة ماشا بينهما من القوى لاجل تحصيل النتائج المطلوبة وقد تقدم الكلام على بعض تلك القوى وليرجع الى ما نحن بصدده فنقول

اذا كان هناك مقينة متحركة على الماء فان تحركها يكون بقوة مستمرة تقاها من حالة السكون حتى تصل الى غاية ما يمكن من السرعة فيلزم أن تبطل بالتدريج مقاومات الماء الشبيهة بتأثير القوة المعطلة ولا تصل الى حالة التحرك المنتظم او المنتسق الا اذا كان ما يندفع من السرعة بتأثير القوة المعطلة مساويا لما يتجدد من السرعة عن القوة الدافعة التي يفرض يتجدد تأثيرها في كل وقت تساوي مضبوطا

وقد امتازت القوة الدافعة عن غيرها من القوى في انواع الاالات يكون تأثيرها يزيد في كل وقت بكمية معلومة لاجل ابطال المقاومات التي تتجدد في كل وقت لابطال هذه الكمية بعينها

فحي اخذت آلة في التحرك فانه اظهر بالقوة الدافعة على القوة المعطلة فينشأ من ذلك استمرارها على هذا التحرك وهو الذي يزداد بالتدريج حتى يصل الى الدرجة التي يكون ما يندفع فيها من السرعة في كل وقت بالمقاومات مساويا لما يتجدد منها اى السرعة بالقوة الدافعة وبالوصول الى هذه الدرجة يكون

تتحرك الآلة منتظما او منتسقا وهذا التحرك هو الجارى فى الاشغال العادية من اشغال الصناعة

وللتحركات الاولى المتغيرة مزية على غيرها فى تحرك الآلة لانه لا تسمى ان سرعتها فى مبداء الامر تكون معدومة ثم تتجدد وتزداد بالتدريج حتى تصل الى السرعة الثابتة المستعملة فى الاشغال المستمرة

هذا ولم يبد هذه الملاحظة مجرد الرغبة فيما بل لكونها ضرورية فى فهم تحرك الآلات فانه فى مبداء التحرك يكون جزء من القوة الدافعة معدا لان يحصل به لكل من اجزاء الآلة درجة من السرعة الموافقة لحالة الشغل العادى الثابتة وعليه فيلزم ان تلك القوة ينعلم بها أولا ان يرسى الآلة (اى سكونها) وثانيا اوائل مقاومات القوى المعطلة لانه اذا اعطى للآلة المذكورة من اول وهلة قوة ثابتة مع السرعة اللازمة لها فى حال تحركها الاعتيادى لزم لذلك قوة وقية عظيمة جدا حتى تبطل دفعة واحدة المقاومات الخاصة بهذه الآلة والمقاومات الحادثة من اترس اجزاها وبذلك يحشى على الاجزاء المذكورة فانها ان لم تنكسر وتلف تضعف حللاتها ومن ذكر فى الكلام على تحرك الطارات المفترسة مثلا شيئا نعلم به اهمية ما ذكر

(الدرس الثالث)

(فى بيان القوى المتوازية)

لا يخفى اننا الى الان لم نذكر القوى المتجهة على مستقيم واحد وسبق ان علمنا يزيد ويتقص على حسب تأثيرها فى جهة او اخرى تقابلها فاذا كانت القوى لا تؤثر على مستقيم واحد فقط بل على مستقيمتين متوازيتين فانه يحصل عن ذلك تأثير كما نرى القوى المتقدمة

مثلا اذا كان فرسان يجزان عربتين فى قطار واحد على مستقيم واحد وكان تأثيرهما عين تأثير فرسين مشدودين بجوانب بعضهما ويجزان ايضا بالتوازي وكذا ثلاث افراس مربوطه فى قطار واحد ومتجهة على مستقيم واحد يكون تأثيرها عين تأثير ثلاثة اخرى مشدودة بجوانب بعضها وجازة بالتوازي

وهلم جرا

فان حدث من القوى المتوازية العديدة المتعدة بالجهة عين التأثير الذي يحدث من قوة واحدة تساوي مجموع تلك القوى وتجز في اتجاه واحد وهي المعروفة بمحصلة تلك القوى

فانما كان هناك قوى متوازية تجذب الى امام واخرى مثلها تجذب الى خلف وحولت الاول الى قوة واحدة مساوية لمجموعها والاخرى الى قوة واحدة مساوية لمجموعها ايضا فان القوة المحصلة الكلية تكون مساوية لتفاضل المجموعين ومتجهة جهة اكبرهما

وقد ذكرت لك هذه النتائج الثابتة بالتجربة لما ان استعمال هذه الكيفية الاولى من اقامة براهين غير جلية لا تقع ارباب القرائح الجيدة فلو قلنا مثلا كما يقول بعض مؤلفي الاصول الاولى انه يلزم اعتبار قوتين متوازيتين في الاتجاه كلتاهما تقاطعتان في نقطة واحدة تقاطعا غير محدود ولهما اتجاه واحد غير محدود ايضا واثرنا التعبير بهذه الطريقة لما ذكرنا لك في الحقيقة الاشياء غامضة قليلة الوضوح وما يسهل مشاهدته ان لمصلحة القوى المتوازية اتجاهها واحدا مع القوى المركبة منها وانما تساوي مجموع ما كان منها يجذب الى امام ناقصا بمجموع ما كان منها يجذب الى خلف وانما يصعب أن يشاهد في جميع الحالات وضع المحصلة الحقيقي ومعرفة متوقعة على مراجعة الهندسة

وذلك ان الهندسة تبين بواسطة الخطوط المناسبة زيادة عن المسافات المقطوعة او المعدة للقطع والمسافات المشغولة بالآلات ومحصولات الصناعة اصولا ميكانيكية ينظر انه لا علاقة بينها وبين علم امتداد ويجب مزيد الالتفات الى هذا الغرض المهم

وبالجمل فلابد من مئة الزمن وطول الخط الا ان الزمن يتقسم الى اجزاء متساوية كالساعات مثلا وتتقسم الساعات ايضا الى اجزاء متساوية كالدقائق والثواني وغير ذلك والخط المستقيم او المنحني يتقسم ايضا الى اجزاء متساوية منمرة بارقام ١ و ٢ و ٣ الخ كالساعات التي تتعاقب في السير من وقت

معين ويتقسم كل جزء من تلك الاجزاء الى اجزاء متساوية بقدر ما في الساعة
من الدقائق وهذه التقسيمات الجديدة تدل على دقائق كل ساعة فاذا قسمنا اجزاء
الخط الجديدة تقسيماناً فابقدر ما في الدقيقة من الثواني فان التقسيمات الحادثة
من ذلك تدل على الثواني وهم جزراً

فاذا وضعت الفكرة بالارقام على هذه التقسيمات امكنت ان تستدل على الزمن
او لا بالاعداد وثانياً باطوال الخطوط فاذا جعلت اجزاء الخطوط وطرحتها
اوضربتها الوقتها كما تفعل ذلك في اجزاء الزمن الدالة عليه كان بالبداية الخط
الاخير وهو حاصل جميع هذه العمليات دالا على الزمن الاخير المطلوب تقديره
وهذه هي كيفية استعمال الهندسة في الاستدلال بالخطوط على الزمن

ثم ان مينات الساعات صغيرة كانت او كبيرة على شكل دائرة منقسمة الى اثني
عشر جزءاً متساوية تدل على الساعات ومنقسمة ايضاً تقسيماناً فابقدر ما الى ستين جزءاً
متساوية تدل على الدقائق لكن لما كانت وحدة القياس مختلفة في الدقائق
والساعات لزم للساعة عقربان لينبعا حركتهما ولزم ايضاً ان العقرب المعدل
للدقائق يكون اسرع في السير من العقرب المعدل للساعات بانتي عشرة مرة

وفي المزاويل الشمسية تكون مقدار الزمن مينة ايضاً باصول هندسية وهي الزوايا
وذلك بان نعد من مركز المزاولة مستقيماً موازياً لمحور الارض ونقرض مستويين
يعز كل من المستقيم المذكور ومركز الشمس ويدور دورانهما منتظماً * والزوايا
التي تقاس فحركة تكون ايضاً قياساً للمسافات المقطوعة

وكل من السرعة والزمن قابل للاستدلال عليه بالخطوط وحيث تكون
ارتفاعات **وا** و **اب** و **بث** المينة في (شكل ١ من الدرس الثاني)

دالة على الازمنة الماضية * وما يكسبه الجسم من السرعة المتكررة
يستدل عليه بمستقيبات **اا** و **باب** و **ثج** الخ المتوازية

وحيث فيستدل على المسافات المقطوعة بالسطوح كما تقدم
ومنى اريد الاستدلال على المسافات المقطوعة بخطوط مناسبة لها وعلى
الازمنة بخطوط ايضاً كانت السرعة المتكررة هي النسب الحاصلة بين هذه

الخطوط فاذن لا يستدل عليها من الا^ن فصاعدا الا بالاعداد
واما القوى فانها ليست من جنس الزمن ولا السرعة ولا المسافة لكنها عوارض
تستعمل الزمن لسي^ر الاجسام من مسافة معلومة في زمن معلوم بسرعة
معلومة

فيمكن أن يستدل على القوى بخطوط مناسبة لها ومتجهة ايجاباها
كما استدل بها على الازمنة والسرعة المتكررة والمسافات

وهذه القضايا واضحة سهلة اذ بها يظهر لك من اول وهلة اعظم فوائد علم
الهندسة وانما احتيج الى هذا العلم هنا لتسهيل به معرفة الميكانيكا ولاجل
استحضار او معرفة حقائق الاشياء وان كان لا وجود لها في الظاهر بحيث يمكن
ادراكها بالحواس كالزمن فانه لا يمكن رؤيته ولا مسه ولا سماعه وانما يمكن
رؤية الخطوط والنقط والارقام المرسومة على المزولة ويؤخذ من ذلك ان الاشياء

تكون مشاهدة دائما بواسطة الهندسة وبها يمكن قياس الزمن
وكذلك لا يمكن رؤيته ثقل الجو ولا سماعه ولا مسه وانما يمكن رؤيته تقاسيم المستقيم
المرسوم بقدر طول البارومتر (وهو ميزان الهواء) الذي تعرف به تغيرات ثقل
الجو ويتوصل بالهندسة الى ادراك ذلك كله بالحواس

ولا يمكن ايضا الحكم بمجرد النظر على الضغط الحادث عن البخار في قدر من الة
البخار وانما يمكن بواسطة المانومتر (وهو ميزان الابخرة) الذي هو كناية
عن بارومتر بخاري أن يستدل على هذا الضغط بخط منتظم الى اجزاء متساوية
ومسأ في ذلك في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند ذكر القوى المحركة

فلا غرو حينئذ في الاستدلال على القوى بخطوط مستقيمة * واتجاه هذه
الخطوط هو عين الاتجاه الذي يتبعه الجسم الواقع عليه تأثير القوة المينة
بما تقدم * وطول الخط يدل على مقدار القوة ولترجع الى ما نحن بصدده وهو
القوى المتوازية فنقول

معي كان القوتان المرموز اليهما بمستقيمي اس و بص (شكل ١)
جاذبتين لمستقيمي اب العمودي عليهما كان قضيب شر المربوط

بمنتصف أ ب والموازي لهاتين القوتين والموضوع على وجه منتظم بالنسبة لهما دالا باليداهة على اتجاه محصلهما وبالجهة حيث كانت قوة العين ليست اكبر من قوة الشمال فلا داعي لان تكون المحصلة اقرب الى العين من الشمال او الى الشمال من العين

فاذا كان هناك ثلاث قوى جاذبة بالتوازي لمستقيمات أ س و ب ق و ث ر (شكل ٢) وموضوعة على بعد واحد من بعضها فان المحصلة تقع في ب ق وهم بر او هاتان الصورتان يجريان في كثير من عمليات النقل بالعربات

مثلا اذا جرت فرس واحدة عربية بواسطة مجريين موضوعين وضعا منتظما على عين منتصف العربية وشماله فانه يجب بالسوية مجرى العين والشمال وعليه فينبغي أن تسير العربية الى الامام في اتجاه مواز للمجريين المذكورين كما اذا كان الفرس لا يجزى الا بواسطة جبل او جزائر ثابتة في منتصف العربية

واذا كان هناك فرسان جاذبان بجانب بعضهما فانهما يكونان على بعد واحد من نقطة المنتصف وهي ع (شكل ٣) وعلى ذلك تكون مجزات ط و ط و ط و ط الاربعة موضوعة وضعا منتظما على عين المنتصف وشماله وبيان ذلك أولا ان محصلة مجزى ط و ط مساوية ط + ط وواقعة على ه في منتصف كنف العربية وهو ا وثانيا ان محصلة مجزى ط و ط مساوية ط + ط وواقعة على ف في منتصف الكنف الثاني للعربية وهو ب وثالثا ان لقوتى ه و ف و ف محصلة وهي غ مساوية لجمعهما وهو ط + ط + ط + ط وموضوعة على بعد واحد من ه و ف

فعلى ذلك يكون مستقيم غ المار بمنتصف العربية دالا في الاتجاه على المحصلة الناتجة

ولنفرض أن هناك قوتين متوازيتين وهما أ س و ص غير متساويتين وبأذنين لتضيب أ ب (شكل ٤) والمطلوب معرفة وضع المحصلة

فلاجل ذلك نفرض أن $\overline{سم}$ $\overline{اث}$ $\overline{رث}$ (شكل ٥) منشوران
 او اسطوانتان متجانستان ومتحدتان في السلك والطول بحيث اذا طبق احد
 طرفيهما على الآخر كما شاعطين طول $\overline{اس}$ مرتين وهذا ما يمكن عمله دائما
 فاذا قرر هذا انضغ لك أن $\overline{ثل}$ $\overline{ثاس}$ $\overline{س}$ و $\overline{ث}$ $\overline{رسم}$
 $\overline{ص} =$ لا يتغيران اذا علق $\overline{ثاس}$ و $\overline{ث}$ $\overline{رسم}$ من منتصفهما
 تعليقا اقصيا فيثبت وجود بين $\overline{ا}$ و $\overline{ر}$ أولا نصف طول الثقل الصغير
 وثانيا نصف طول الثقل الكبير وعليه يكون مجموع نصفي الطولين المذكورين
 مساويا لبعده $\overline{اس}$ فاذن ينطبق الثقلان على بعضهما ويكونان موضوعين
 على وجه بحيث لا يتكون منهما الا ثقل واحد فاذا فرض انهما من مبداء الامر
 متلاصقان فذلك لا يغير موازنهما لكن $\overline{ثل}$ $\overline{رسم}$ المتكون منهما المتحد
 السلك في كل من طرفيه يكون بالبداهة متوازنا عند تعليقه من منتصفه بقوة
 واحدة وليكن $\overline{ث}$ رمز هذا المنتصف فتكون محصلة قوتى $\overline{س}$ و $\overline{ص}$
 وهى $\overline{ر}$ مارة بنقطة $\overline{ث}$ المذكورة

فاذا فرض عكس طرفى $\overline{اث}$ بأن جعل احدهما موضع الآخر وكانت نقطة
 $\overline{ث}$ موضوعة على $\overline{ث}$ حدث بالبداهة هذا التساوى وهو

$$\overline{رث} = \overline{اث} = \overline{رص}$$

$$\overline{اث} = \overline{رث} = \overline{اس}$$

وعلى ذلك تكون نقطة $\overline{ث}$ واقعة على نقطة $\overline{ث}$ في منتصف $\overline{اس}$
 فاذن ينبغي الوضع فى $\overline{ث}$ على ابعاد متساوية من $\overline{اس}$ و $\overline{رص}$
 المناسبين لقوتى $\overline{رص}$ و $\overline{اس}$ لاجل تحصيل نقطة وقوع المحصلة
 ولندكر هنا مثالا في شأن هذه الحقيقة يتعلق بجزء العربات بالخيول فتقول
 يستعمل في ذلك غالبا هذه الطريقة وحاصلها انه اذا كان هناك ثلاث افراس
 وهى $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ و $\overline{ز}$ (شكل ٦) مربوطة بجانب بعضها فان
 القرسين المرموز اليهما بحرفى $\overline{ص}$ و $\overline{ز}$ يكونان مربوطين بكثف العربى
 وهو $\overline{اس}$ وتكون محصلتهما وهى $\overline{ث}$ مساوية لمجموع قوتيهما

وموضوعة في منتصف \overline{A} وهذه المحصلة تقع مباشرة على قوة \overline{A} القوس الثالث وعليه فتوضع نقطة \overline{H} مرتين قريبا من \overline{D} و \overline{S} وهي نقطة وقوع قوتي \overline{D} و \overline{S} وبناء على ذلك تكون ايضا نقطة وقوع المحصلة الناتجة منهما وهي \overline{X} وقد يكون \overline{H} متجه على محور العربية الطولي

وليفرض كما في (شكل ٤) أن قوة $\overline{R} = \overline{S} + \overline{V}$ تفوق على قوة \overline{V} قليلا قليلا حيث أن \overline{S} تنقص كثيرا كثيرا فإذا فرض في مساواة $\overline{R} \times \overline{R} = \overline{S} \times \overline{S}$ أن $\overline{A} = \overline{D}$ و $\overline{R} = \overline{S}$ لا يتغيران فلا يخفى أنه كلما نقص \overline{S} ازداد \overline{A} وإذا كانت قوة \overline{S} محولة بالتوالي إلى نصف طولها الأصلي أو ثلثه أو ربعه أو غير ذلك لزم أن يكون بعد \overline{A} مضعفا من ثلث وثلث ررباع وهكذا لاجل خط حاصل $\overline{S} \times \overline{A}$ وإذا بلغ \overline{A} في الكبر ما بلغ فإنه يوجد دائما مقدار صغير لقوة \overline{S} التي لا مانع من مكافئتها للمساواة المتقدمة فاذن يفوق $\overline{R} = \overline{S} + \overline{V}$ على \overline{V} بكمية يسيرة وهي \overline{S}

ويحدث من ذلك القضية المشهورة وهي أنه لا يمكن أنوازن قوتين كقوتي \overline{V} و \overline{R} مع قوة ثالثة كقوة \overline{S} متى كانتا متساويتين ومتوازيتين ومتجهتين إلى جهتين متضادتين وإذا بلغت قوة \overline{S} في الصغر والتباعد ما بلغت فإنها لا تبلغ في ذلك حد الكفاية

وحيث أن القوة الكلية لا يمكن أنوازن قوتين متساويتين ومتضادتين ومتوازيتين يلزم أن لا يكون لهاتين القوتين محصلة كلية قابلة لأن تسير الجسم إلى الامام على خط مستقيم فاذن يحدث عن هاتين القوتين المتساويتين المتضادتين المتوازيتين على الجسم الواقعتين عليه تأثير آخر بخلاف التأثير الذي يسيره على مستقيم واحد وسيأتي الكلام على ما يكون للجسم من قوايتين التحرك الجديد في الدرس الرابع بعد توضيح ما يتعلق بالتحرك كات الحادثة على مستقيم واحد

ولترجع الى تاثير القوى المتوازية التي يمكن أن يكون لها محصلة ونذكر في شأنها قاعدة شهيرة فنقول

مضى كان هنالك قوتان كقوتى $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ واقعتان هودبا على قضيب $\overline{أب}$ (شكل ٧) فاذا انحرقتا بالسوية بشرط انه لا يتغير توازيهما في $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ كانت محصلتهما وهى $\overline{ر}$ المساوية لمجموعهما دائما واقعة على نقطة $\overline{ث}$ وحيث لا يكون موضع نقطة الوقوع ولا مقدار المحصلة تعلق بميل هاتين القوتين المتوازيتين بالنسبة للمستقيم الواصل بين قطبتي وقوعهما ثم ان هذه الخاصية وهى خاصية التحرك التي هى بحسب الظاهر فى غاية السهولة لها نتائج عظيمة وقررات جسيمة فى علم الميكانيكا والصناعة ولذا كرا الخواص الاصلية فنقول

اذا فرض ان هنالك ثلاث قوى متوازية كقوتى $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ و $\overline{ز}$ واقعة على ثلاث تقطيلست على مستقيم واحد (شكل ٨) وان $\overline{أس}$ و $\overline{بص}$ و $\overline{شز}$ دالة على اتجاهات تلك القوى كان لقوتى $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ فى مبدأ الامر محصلة $\overline{ر}$ الواقعة على نقطة $\overline{د}$ والمساوية $\overline{ص} + \overline{س}$ والموضوعة على وجه بحيث يحدث عنه هذا التناسب

$$\overline{دأ} : \overline{دب} :: \overline{ص} : \overline{س}$$

ثم يكون لقوتى $\overline{ر}$ و $\overline{ز}$ محصلة $\overline{ض}$ $\overline{ر} = \overline{ز} + \overline{س}$ $\overline{ص} + \overline{ز}$ فتكون نقطة الوقوع وهى $\overline{ه}$ لمحصلة $\overline{ض}$ موضوعة بحسب هذا التناسب

$$\overline{ده} : \overline{هث} :: \overline{ز} : \overline{ر}$$

فاذا تقرر هذا وتغير اتجاه جميع القوى بدون أن يتغير توازيها وكان وضع تقطع $\overline{د}$ و $\overline{ه}$ غير متعلق باتجاه تلك القوى يلزم أن يكون هذا الوضع باقيا على حالة واحدة وعلى ذلك فمضى تغير اتجاه القوى المتوازية الواقعة على $\overline{أ}$ و $\overline{ب}$ و $\overline{ث}$ على اى وجه كان بحيث لا يعدم توازيها فان نقطة وقوع المحصلة تكون دائما نقطة $\overline{ه}$

فاذا كانت القوى اربعا او خمسا او ستا فان نقطة وقوعها لا تتغير ولو تغير اتجاهها
جميع القوى المركبة معا بشرط أن تكون باقية على نوازيها
هذا ويمكن أن نعتبر الجسم ك مجموع عدة اجزاء صغيرة مادية مندفعة جهة
الارض بواسطة قوى اتجاهاتها متوازية تقريبا ويمكن اعتبار تلك الاجزاء
كالقوى في التوازي بدون خطأ يفي
فاذا كان الجسم في وضع وادبر الى آخر واقتضى الحسب البحث في كل وضع عن
نقطة وقوع القوة الكلية المحصلة من ثقل كل جزء صغير من الجسم فاننا نجد
دائما نقطة واحدة وهي نقطة شهيرة نعرف بمركز الثقل
وبواسطة التجربة يتحقق من خاصية الاجسام عند تعليقها بخيط في اتجاهات
مختلفة ونوازيها فيكون هذا الخيط بالبداهة تابعا لاتجاه محصلة ثقل جميع
اجزاء الجسم ويعلم من ذلك انه يكون دائما في اتجاه مار بنقطة منفردة وهي
مركز الثقل

ونخاصية مركز الثقل بالنظر الى الفنون فوائد عظيمة في تحريك الاجسام
ولنفرض أن جسما ذا شكل ما يتحرك على مستقيم واحد بدون أن يدور فكل
من اجزائه الصغيرة التي يطلق عليها اسم العناصر يكون مدفوعا بقوة مناسبة
اولا للسرعة المشتركة وثانيا لكمية المادة التي يحتوي عليها هذا العنصر
وفي التحرك المستقيم الذي كلاً منافيه يتحرك كل عنصر على مستقيم واحد
فيكون مدفوعا بقوة متجهة الى جهة هذا المستقيم ومناسبة اولاً لمجموعه
وثانيا لسرعته

ولنفرض مثلاً جسماً طوله متر واحد فاذا جعلنا هذا الطول قاعدة لثلث
رأسه في مركز الارض حدث عن ذلك ثلث ليست قاعدته جزءاً من ستة من
مليون من ارتفاعه ولا يحدث عن ضلعيه الطويلين الدالين على اتجاه التثاقل
زاوية مساوية بثلثه من مائة من الف من الدرجة الواحدة وهذه الزاوية لا يمكن
قياسها باعظم الآلات مع الضبط والصحة
ولجميع هذه القوى المتقدمة محصلة واحدة متوازية لاتجاهها المشترك ومساوية

لجميعها ومارة بمركزها وهي عناصر مركز ثقل الجسم
وعلى ذلك يتحرك الجسم بهذه المثابة اعني يقع مستقيما واحدا بدون دوران
وذلك باحد شروط ثلاثة وهي

(اولا) أن يكون كل من عناصر الجسم مدفوعا بقوة واحدة مناسبة لجسم
هذا العنصر وموجهة الى اتجاه معلوم

(ثانيا) أن يكون الجسم كله مدفوعا بقوة واحدة موازية لاتجاه معلوم
ومررة بمركز ثقل الجسم

(ثالثا) أن يكون مدفوعا بقوة متوازية لها محصلة واحدة مارة بمركز
ثقل هذا الجسم

فعلى ذلك اذا اريد منع الجسم الذي يسير الى الامام على مستقيم واحد عن
التحرك بالكلية بواسطة قوة واحدة لزم أن يكون اتجاه هذه القوة مارة بمركز
ثقل الجسم

واما اذا اريد منعه عن التحرك بواسطة عدة قوى فيلزم ان تكون محصلة
هذه القوى مارة بمركز ثقله

وقد اثبتنا فيما سبق انه اذا علق او اسند جسم من نقطة واحدة فشرط التوازن
أن يكون مركز ثقل الجسم ونقطة التعليق موجودين معا على مستقيم رأسي
واحد وفي اريد تعليق جسم في وضع معين لزم أن تتوهم مستقيما رأسيا مارة
بمركز ثقل ذلك الجسم ونضع نقطة الارتباط على الرأس المذكور وسيأتي ذلك
في الدرس الذي نتكلم فيه على وضع مراكز ثقل المربع والمستطيل والمعين
والدائرة والقطع الناقص ونحوها ان البراوير التي تعلق في البيوت وتكون
على شكل من هذه الاشكال لها نقطتا تعليق وارتباط موضوعتان مع مركز
ثقلها على مستقيم رأسي واحد ومن هذا القبيل الخفاف المعلقة في قباب
الكنايس ومقوف المقاعد والدلاء المربوطة بالحبال لاعتراف الماء والتزول
في المعان

وبالجملة فعرفة وضع مركز الثقل مما لا بد منه للصناعة سواء وضعوا اجساما

ساكنة في وضع معلوم او يبروها على مستقيم واحد بدون دوران او منعوا تحرك الاجسام التي تسير بهذه المثابة

ثم ان جسم الانسان له مركز ثقل كغيره من الاجسام الا ان هذا المركز يتغير وضعه متى حرك الانسان اعضاؤه او حمل شيئا ما وذلك لان الحامل والمحمول معا يعتبر لهما مركز ثقل واحد تتركبه محصلة ثقله وقل حمله

فاذا وقف الانسان مع الاعتدال والاستقامة الثامة (شكل ٩) (وشكل ١٠) امكن أن نعتبر اخصيه كمنطقة وقوع القوى المتوازية المؤثرة من اسفل الى اعلا والدالة على قوة مقاومة الارض التي يكون بها هذا الانسان وجميع قوى المقاومة محصلة واحدة رأسية واقعة على نقطة معلومة كقطة أ

ولاجل توازن ذلك يلزم أن تكون المحصلة مارة بنقطة ب التي هي مركز ثقل الجسم الانساني لان هذا الجسم بدون ذلك يكون مجذوبا الى الجهة التي يكون بها مركز ثقله ويكون محقق الوقوع مالم يبادر بتوصيل هذا المركز الى وضع محصلة قوى المقاومة الرأسية بأن يعمل بعض اعضائه الى الجهة المتقابلة لجهة السقوط

فاذن يلزم ان مركز ثقل الجسم الانساني يعتبر كأنه يتغير في كل وقت تقريبا بالتحركات التي تستدعيها حاجة الانسان او حفظه

ومن المهم في الفنون المستطرفة وفي كثير من فروع الصناعة معرفة الاوضاع المتنوعة التي يمكن أن يأخذها مركز ثقل الانسان

فيبغي للمصورين والنقاشين أن يعرفوا هذه الاوضاع معرفة كافية حتى لا يضعوا اشكالها في وضع فاسد اي في وضع لا يمكن للانسان أن يقف فيه مع الاستقامة بدون أن يسقط ولا شأن أن هذا العيب كاف في الاخلال بجودة الصناعة وضياع انتظام الفنون المستطرفة

فاذا فرض ان بعض المصورين رسم صورة انسان حامل على ظهره (شكل ١١) حلا كبيرا وجعله في وضع تام الاستقامة كان ذلك

مخالفات قوانين الميكانيكا والحقيقة الرصد (وقدر من نافي جميع ما يأتي من العبارات
والاشكال بحرف غ الى مركز ثقل الجسم الانساني وبحرف غ الى
مركز ثقل الحامل والمجول معا)
وبالجملة فالتوازن يقتضي ان شطة غ التي هي مركز الحامل والمجول
المعتبرين بجسم واحد تكون على المستقيم الرأسى الحادث عن انحنى الانسان
لاجل المقاومة لكن اذا كان الانسان معتدلا وكان مركز الثقل يميل الى جهة
الخلف حتى يخرج عن المسافة المشغولة باخصى الرجلين فانه حينئذ يقع
هو ومجوله الى جهة الخلف

والعتال معرفة نامة بهذا القادة الميكانيكية فانه بمجرد ما يضع الحمل على ظهره
يشرع في امالة الجزء الاعلى من جسمه الى الامام كما تراه في (شكل ١٢)
ليكون مركز الثقل المشترك بين الجسم والحمل على مستقيم رأسى لانه
فاذا كان الحمل باقيا على ثقله فانه كلما كان مركز ثقله بعيدا عن مركز ثقل جسم
الحامل كان المركز المشترك بينهما مائلا الى الخلف وكان العتال مجبورا
على أن يميل الى الامام ولا يزال كذلك حتى ينتهي امره الى اخذ وضع متعب
وربما تعذر اذا كان الحمل عظيم الحجم كما تقدم في (شكل ١٢)
فاذا كان الجسم مسطحا من جهة وعريضا من اخرى فان العتال يستدل بالجهة
المسطحة على ظهره ويقل حينئذ مركز ثقل الحمل الى الامام مهما امكن
وبذلك يمكنه عند حمل ثقل معلوم أن يميل قليلا بقدر الامكان ليكون متوازما
مع الحمل

ومن الاقوال التي لاتعد خفيفة جو بنديا العسكرية التي يحملها على ظهره
وقد كانت الجربنديا القديمة المدية بالكلية ينشأ عنها ضرر كالضرر الناتج
عن الحمل المذكور في (شكل ١٢) فكان مركز ثقلها مائلا الى الخلف
بالكلية فبذلك كان الراجل مجبورا على أن يكون الجزء الاعلى من جسمه مائلا
الى الامام بالكلية حال السير وكان ذلك بموجب قوانين صعبة صادرة
عن امر غوطية فلما تفكروا في خواص مراكز الثقل ادركوا فائدتها

ومنعوا العساكر جربنديات عريضة ومسطحة (شكل ١٣) مركز
قلعها يميل الى الخلف قليلا اذا حملها العسكرى على ظهره من جهتها
العريضة وهذا التخفيف الضرورى معدود من العمليات السهلة المتعلقة
بقضية مركز النقل النظرية وكان العساكر قبل عمل هذه الجربنديات
يقربون يحملون على ظهورهم مع المشاة جربنديات ودثة الشكل

وقد ينشأ عن الحمل الموضوع في جهة الامام تأثير مضاد يجبر الحامل على الميل
الى جهة الخلف لاجل أن يحفظ التوازن على قدميه مالم يقصد وضعه لانه
الاقامة به بدون أن يكون عرضة للسقوط (شكل ١٤)

فانظر الى بائعة السمك (الافريقية) مثلا (شكل ١٥) فانك تجد حالها
المربوطة بالاربطة معلقة امامها تعليقا اقويا وراها عند الوقوف على غاية
من الاعتدال الا أن اعلى جسمها يكون مائلا مع رأسها الى جهة الخلف
ولما كانت في الغالب تستند يديها على فخذيها كان ذراعاها ايضا مائلين الى
تلك الجهة وهذه العادة وان كانت جارية في الناس لتقصديا في الهبة والوقار
الا ان هذه المرأة لم تكن تفعلها الا ليكون مركز ثقل جسمها وذراعيها مائلا
الى خلف بقدر الامكان لتوازن حملها

وكذلك الحلبى (شكل ١٨) فانها اذا عظم حملها وثقل تكون مجبورة
كبائعة السمك على امالة اعلى جسمها الى خلف ولو حرت العادة بانها حال المشى
تستند يديها على فخذيها حتى تكون ذراعاها مائلين الى خلف لكانت
في الغالب تمشى مشيا قويا

وكذلك من تجاوزوا الحد في الغلط (شكل ١٧) فانهم مجبورون
على الاستقامة والاعتدال على الوجه الذى عليه السماء والحلبى
واذا اريد امالة ثقل جسم الى جهة الامام لم تقدم الارجل كثيرا نحو تلك
الجهة وامالة منتصف الجسم الى جهة الخلف بالكلية ليكون مركز الثقل
مائلا الى خلف بقدر الامكان (شكل ١٦)

وقد ذكر حنايا كس رسول أن النساء لا يعرفن كيفية الجرى وانهم يمددن

في تلك الحالة أذرعهم إلى خلف لأنهم عند الجرى يملن بأعلى جسمهم إلى الامام
بالكافية وذلك يستلزم استعمال الأذرع المتقدمة لأجل التوازن
فإذا كان السقاء الأفريقي يحمل بأحدى يديه دلوا واحدا (شكل ٢٠)
فإن مركز ثقل الحامل والمحمول لا يكون مائلا إلى جهة الخلف وإلى الجهة
الامام كما في الصور المتقدمة وإنما يكون مائلا إلى جهة غيرهما وحيث أن يلزمه
أن يميل إلى الجهة المقابلة لتلك الجهة وذلك يوجب التعب دائما ومن هذا
القبيل أيضا الموضع التي تحمل الطفل على إحدى ذراعيها (شكل ١٩)
ومثل هذه المشاق الخالية عن الحدود ينبغي اجتنابها واستبدالها بكيفية أخرى
بأن يجعل الإنسان ما يحمله على حزينين متقابلين من جسم بالسوية فيعمل
السقام مثلا دلوين (شكل ٢٢) والمريض طفلين متساويين في الثقل
(شكل ٢١)

وتم تساميفات يحملن على رؤسهن مع السهولة تماما لاجبة (شكل ٢٣)
بحيث يكون مركز ثقل الحمل في الوضع الرأسى مع مركز ثقل الجسم فيكون
مركز ثقل الحامل والمحمول مرتقا لكنه يكون دائما على رأسى واحد فاذن
لا يحتاج المرأة الحاملة إلى الميل من أى جهة كانت لأجل حفظ توازن وضعها
الطبيعى

وأول ما اخترعه الناس من المخترعات الميكانيكية بعد أن كانت اشغالهم
لا طائل تحتها هو الخرج الذى له جهة واحدة أو جهتان متساويتان وهو
مقرب من وسطه ليدخل به الجاني رأسه (شكل ٢٤) فإذا جى الخراج
وضعه في جهتي الخرج القدامية والخلفية حتى تمتلا بالسوية بحيث لا يغير
مركز ثقل الحامل والمحمول وضعه الرأسى بل يبقى عليه دائما وحيث أن يمكن
في استعمال الخرج المذكور أن يوضع في جهتيه بدون مشقة حمل عظيم

فإذا فرضنا أن امرأة واقفة على رجله مع الاعتدال ثم رضع احدهما على حين
غطه وصاروا قضا على رجل واحدة فإن بقي جسمه على اعتداله فلا شك أنه يقع
من جهة الرجل المرفوعة فيلزمه لأجل منع هذا الوقوع أن يميل بجسمه قليلا

الى جهة الرجل الثابتة في الارض بحيث يكون مركز الثقل موضوعا على
المستقيم الرأسي المار بالجزء المشغول بهذه الرجل من الارض
فمن ثم كان الناس في حال المشي يميلون قليلا بدون اشعار الى جهة اليمين والشمال
بالتعاقب على حساب ارتفاع الرجل اليمنى او اليسرى (شكل ٢٥)
وقد يكون هذا التحرك المتعاقب محسوسا للانسان بالكلية اذا وقف أمام بلوك
من العساكر سائر على صف واحد بالتساوى وذلك لانه يرى ان هذا البلوك
يميل ذات اليمين وذات الشمال عند نقل كل خطوة مع غاية الانتظام والاتحاد
في السير

فيكون هذا التحرك الخفيف الحاصل ذات اليمين وذات الشمال الذي ينشأ عنه
وضع مركز الثقل الثابت في غاية الصعوبة والمشقة على شخصين كل منهما
قايض على ذراع صاحبه وماش مع النشاط وانخفة ما لم يسيرا على مهل معا
فان مركز ثقل احد هما بدون ذلك يكاد يقع جهة الشمال تحقيقا متى كاد
مركز ثقل الاخر يقع جهة اليمين وبناء على ذلك اذا كانت رجلاهما الداخلتان
موضوعتين على الارض فان هذين الشخصين يتصادمان او يتفادعان
واما في صورة العكس وهي ما اذا كانت رجلاهما الخارجتان على الارض
فانهما يتجاذبان ويكادان أن يتفصلا عن بعضهما وبذلك يكون ذراعاهما
في غاية التعب

وقد ترتب على ما ذكرناه من الأدلة في شأن العساكر المشاة الذين يلزمهم بموجب
الترتيب الجاري الآن أن يسيروا مع تماس اذرعهم بعضها البعض منفعة عظيمة
وهي جبر جميع الناس التماسين على أن يسيروا معاقدا ما يقدم لانه بدون ذلك
لا يمكن استمرار اذرعهم على المماسية حيث انه اذا مال انسان منهم بحسبه
الى الجهة اليمنى مال الاخر بحسبه الى اليسرى فيختل صفهم وتتفرق جمعيتهم
ولاجل حصول الانتظام والاتحاد في جميع الحركات بمجرد الشروع في السير
يجب على العساكر جميعا أن يبدؤا بمد رجل واحدة وهي اليسرى حسبما هو
منتق عليه ومن هنا تعلم ان الباعث لهم على نقل رجل واحدة عند السير المنتظم

من متعلقات قضية مركز الثقل النظرية

هذا ويظهر في فن الرقص من تطبيقات هذه القضية وعلمياتها ما هو أكثر تنوعاً من السير وليس هذا محل البحث عن دروس معلى الرقص الرموزي أو غيره من أنواع الرقص حتى نتعرض فيه لذكر هذه التطبيقات لكن حيث أننا بصدد الكلام على قاعدة التحرك وهو موجود في السير والرقص والتميز على النط والوثوب حتى أن تكلم هنا على التطبيقات المذكورة فنقول

إذا فرض أن الراقص أو البهلوان رفع رجله اليمنى من الجهة اليمنى مثلاً وجب عليه في الحال أن يميل جزءاً من جسمه إلى الجهة المقابلة لتلك الجهة حفظاً للتوازن لكن حيث كان يلزم أن تحركت الكتلة الجسم تكون صغيرة مهما أمكن ليكون ما يبدل في ذلك من الجهد قليلاً غير ظاهر مع السهولة والخفة لئلا يمتد الرقص أو البهلوان ذراعه الأيسر إلى الجهة اليسرى فإذا كثرت أرجل اليمنى متأخرة إلى خلف لزم أن يكون الذراع الأيسر متقدماً إلى أمام فيكون على صورة مركز (أي عطارد) الطيار الطيفة (شكل ٢٦) وعلى صورة رؤميه أيضاً (أي الشجرة)

وأما مقابلة تحركات الأذرع بتحركات الأرجل لحفظ مركز الثقل على رأسى واحد فذلك مما لا بد منه لتطابق الحبال الذين ينطون بلاميزان معهم فيكون التحرك حيثئذ محسوساً مشاهداً والفرض الأصلي من الميزان المذكور هو تحويل مركز ثقل الجسم والميزان معاً على رأسى ما وبالحبل

وكثيراً ما عاينت أناساً يمشون مع العجولة ويميزون أذرعهم بكثرة ويطرحونها إلى أي جهة من الجهات عوضاً عن كونهم يطرحونها إلى الخلف أو إلى الأمام كما هي عادة معظم الناس * وبموجب المحفوظات المقررة في شأن الطريقة التي يكون فيها مركز الثقل مائلاً في كل خطوة إلى جهة الرجل الثابتة على الأرض يرى أن الأذرع تميل بواسطة التحرك الطبيعي إلى جهة الرجل المرتفعة لأجل تحويل مركز الثقل إلى اتجاه السير فهو لاء الناس الذين براعون هذه المحفوظات يكونون في مشيهم أكثر استقامة واعتدالاً من الأول

ثم ان مراعاة مركز الثقل هي من اهم الاشياء في فن ضرب الشيش
فاذا كان ثقل الجسم مائلا كما هو العادة الى الرجل اليسرى المتأخرة الى خلف
لزم أن يكون مركز ثقل الجسم موضوعا على مستقيم رأسي ماردائما بالرجل
المذكورة وهذا بعينه هو الذي يجبر الانسان على أن يميل كثيرا باعلا جسمه
الى خلف ويمتد به اليسرى الى تلك الجهة لاجل توازن الذراع الايمن والساق
الايمن المتقدمين الى امام وبالجملة فادق ضربة من الشيش المدل للتعليم تغلب
الضارب اذا كان مركز ثقله مائلا جدا الى خلف وفي صورة العكس وهي
ما اذا كان المركز المذكور مائلا الى الامام يصل للضارب تعب عظيم متى مال
بجميعه الى خلف وربما كان عرضة للخطر يبطئ هذا التحرك
وساقي في الدروس الذي تكلمنا فيه على تحرك الدوران من مركز الثقل لها
تأثير مهم في التحرك المذكور كما ان لها تأثيرا مهما في التحرك المستقيم

(الدرس الرابع)

(في بيان مراكز ثقل الآلات ومحصلات الصناعة وفي كمية القوى)

اعلم ان ما سلفناه من الامثلة في الدرس المتقدم يكنى دليلا على ان من اهم
الاشياء في كثير من الفنون والصنائع تعيين الوضع الحقيقي لمركز ثقل ككثير
من الاجسام المتنوعة الشكل وكذلك تعيين مركز ثقل الاجزاء الثابتة
والاجزاء المتحركة من سائر الآلات
فاذا وقعت عربة ذات عجلتين فلا بد أن لا يكون ثقل الحمل موضوعا امام المحور
ولا خلفه لانه في الصورة الاولى ان لم تلف العربة من الحمل يلحقها مشقة عظيمة
بدون أن يتقص شيء من الجهد والتعب اللازم بلتر العربة وفي الصورة الثانية
يكون ثقل المؤخر اعظم من ثقل المقدم فان لم تضطرب العربة بذلك وتزلزل
ارفع الفرس وصار بعيدا عن الارض وربما ترتب على هذا الجهد والمشقة
خطر عظيم عند الصعود على جانب جبل منحدر انحداراينا
ولا بد في عمارة السفن وانتظام وسقها وتصيرها ولوازمها وادواتها من حساب
وضع مركز ثقل كل جزء من السفينة وكل شيء احتوت عليه لاجل معرفة

مركز ثقل الجميع ولاجل التحقق من استيفائها لشروط التوازن والتثبيت كما سيأتي (في الجزء الثالث عند ذكر القوى المتحركة)
 فإذا كان ثقلان متساويان ومعتبران كنقطتين ماديتين مربوطتين بطرف في قضيب غير لين وفرضنا أنه لا تتناقل له فإن مركز ثقل مجموعهما يكون في منتصف المستقيم

ونقطة $غ$ التي هي مركز ثقل مستقيم ثقيل كمستقيم $أب$ (شكل ١) المبين بسلك معدني متحد السمك في جميع جهاته موضوعة في منتصف طول هذا المستقيم لأنه إذا علق من منتصفه فلا داعي لأن تكون إحدى جهتيه أرجح من الأخرى بل يكون التوازن باقيا على حالة واحدة مهما كان ميل هذا المستقيم والنقطة التي يكون هذا التوازن الثابت حاصلًا حولها هي مركز ثقل المستقيم المذكور

فلاخفاء أنه إذا وضع منتصف قضيب أفقي متحد السمك في جميع طوله على طرف أصبع أو على طرف شيء ما فإنه يكون متوازنا وكذلك إذا علق من منتصفه وسيأتي عند الكلام على الرافعة أن توازن الميزان من جملة تطبيقات هذه القاعدة

ونفرض الآن أن المطلوب مركز ثقل مجموع مستقيمي $أب$ و $ش$ (شكل ٢) المتضمني التناقل في جميع طولهما بحيث تكون أطوالهما دالة على ثقلهما

فيمكن أن نعتبر أن ثقل مستقيم $أب$ محصور في منتصفه وهو نقطة $هـ$ وثقل $ش$ محصور أيضا في منتصفه وهو نقطة $ف$

فيحدث بذلك قوتان متوازيتان أحدهما واقعة على $هـ$ والأخرى على $ف$ وكلتاها يبدل عليه $أب$ و $ش$ فتكون محصلتهما مدلولًا عليهما بمجموع $أب + ش$ وتكون نقطة وقوعها هي $ش$ على مستقيم $هـ ف$ مبنية بهذا التناسب وهو

$$أب : ش :: ش : ش$$

الذي يمكن وضعه بهذه الصورة

أب + شد : أب :: ش ف + ش ه أو ه ف : ش ف
وينتج من ذلك أن

$$\frac{\text{أب} \times \text{ه ف}}{\text{أب} + \text{شد}} = \text{ش ف}$$

وبذلك يعلم مقدار الحذف الرابع من هذا التناسب (كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة)

ويسهل بالقاعدة التي ذكرناها اقامة معرفة مركز ثقل ما يراد من المستقيم الثقيلة وذلك بأخذ هامتي فاذا كان المطلوب مثلاً تحصيل مركز ثقل مستقيم متألّف منها كثير اضلاع مستقيم مثل أب شد (شكل ٣) فانك تأخذ نقطة تصيف اضلاع أب و بث و شد الخ وهي أ و ب و ث الخ فبواسطة القاعدة المتقدمة تجد على مستقيم أ نقطة سم وهي مركز ثقل مستقيمي أب و بث وإذا مددت مستقيم سمث واعتبرت أن ثقل مستقيمي أب و بث محصور في نقطة سم التي هي مركز ثقلهما كانت نقطة سم مركز ثقل أب + بث و شد فبعد أيضاً ان نقطة ز مركز ثقل أب + بث و شد و دا فتكون هذه النقطة مركز ثقل المستقيمات الاربعة وهي أب و بث و شد و دا

وعما ينفع التلامذة فترهم على عمل كثير الاضلاع مثل أب شد الخ من سلك حديد يربطون به خيوطاً من حرير كخيوط أ و سمث و سمه الخ فيصعدون وضع مركز ثقل كثير الاضلاع المذکور على غاية من الضغط ثم يعلقون هذا الشكل بخيط جديد على التوالي من نقطة أ ومن نقطة ب ومن نقطة ث وهكذا فيرون أن الشاقول الموضوع بجوار خيط التعليق يمر دائماً بمركز ثقل كثير الاضلاع المذكور فيتصوّرون حيثئذ بالتجربة خاصية مراكز الثقل تصوراً واضحاً سهلاً وهذا الثمرين يعرفون عملية مفيدة جداً

ويجبرون على ممارسة المساعدة الهندسية المقررة في شأن المستقيمات المناسبة
(كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة)

وقد بسطنا الكلام في الجزء المتعلق بالهندسة على شكل الخطوط المتماثلة
والسطوح المتماثلة والججوم المتماثلة ونحوها بحسب الاهتمام بمثل الاشكال من
اعظم ما يكون عند الميكانيكي والمهندس وان كان الصنّاعية لا يهتمون
بهذا الغرض

وليكن كافي (شكل ٤) شكل استدده د ث ب أ مثلاً متماثلاً
بالنسبة لمحور ا ه ولتكن نقطة غ مركز ثقل محيط استدده
الموضوع على شمال محور التماثل

فاذا تينا جزء الشمال على جزء الميمن فانهما ينطبقان على بعضهما انطباقاً تاماً
وحيث انهما لا يختلفان لافي المقدار ولا في الصورة ولا في الوضع لزم أن يكون
مركز ثقلهما موجوداً في نقطة واحدة فاذا كانت نقطة غ التي هي مركز
ثقل استدده في وضع متماثل بالنسبة لنقطة غ بمعنى ان غ و غ
يكونان على بعد واحد من المحور وموضعين على مستقيم غ غ العمودي
على هذا المحور وحيث ان محيطي استدده و استدده
المتماثلين متساويان في الثقل كما مدلولاً عليهما بقوتين متساويتين احدهما
واقعة على غ والاخرى على غ وكانت محصلتهما المساوية لمجموعهما
واقعة على منتصف مستقيم غ غ اعني في نقطة ح على محور التماثل
فاذا ثبت المطلوب

ومركز ثقل اي خط متماثل يكون بالضرورة موضوعاً على محور التماثل
ولتنبه على ان السطح المستوي المنتهي بحيط متماثل يكون متماثلاً بالنسبة
للمحور المتقدم كالحيط المذكور

ويمكن أن يفرض أن هذا المحيط ينتهي به السطح المستوي الثقيل في جميع
جهاته كفرخ من ورق اولوح من معدن فاذا كانت قطعتا غ و غ
دالتين على مركزى ثقل السطحين الموضوعين على ميمن محور التماثل وشماله

فان مستقيم $\overline{غ غ}$ يكون عمودا دائما في نقطة $\overline{غ}$ على المحور ويكون
 $\overline{غ غ} = \overline{غ غ}$ فاذن يكون مركز ثقل كل سطح مستويا متماثلا
 موضوعا على محور التماثل واذا علق في نقطة من المحور براوير ذات شكل مائل كما
 متماثلة فان محور التماثل يكون موجودا دائما في وضع رأسي وبالجملة فنقل
 الشكل المذكور يكون مؤثرا كالموجود كان محصورا كله في مركز الثقل وزيادة
 على ذلك يكون اتجاه هذه القوة الرأسى مازا فرضا بنقطة التعليق والارتباط
 الثابتة فاذن تعدد القوة بالمائع المذكور (وهو التعليق) وعليه فيكون
 البرواز متوازنا

والتماثل الاخرى من خرفة بكثير من البراوير المتماثلة اياها كان شكلها
 ونقطة تعليقها موضوعة على محور التماثل لانه ان لم يكن وضعها بهذه المثابة
 كانت قبيحة المنظر

ولنذكر هنا بعض امثلة سهلة لاجل ابضاح المفردات العامة التي اسلفناها
 ونرمز بحرف $\overline{غ}$ في جميع الاشكال الاتية الى مركز الثقل فنقول

ان $\overline{غ}$ الذي هو مركز ثقل المحيط او سطح البرواز المثلى التماثل مثل
 $\overline{ا ب}$ (شكل ٥) يكون موضوعا على رأسي ماز بنقطة $\overline{آ}$ التي هي
 رأس مثلث $\overline{ا ب}$ ومتوسط قاعدته وهي $\overline{ب}$ فاذا علق هذا
 البرواز من نقطة $\overline{آ}$ التي هي رأس ذلك المثلث (شكل ٥) او من نقطة
 $\overline{د}$ التي هي منتصف قاعدته وهي $\overline{ب}$ (شكل ٦) وكانت هاتان
 النقطتان موضوعتين على محور التماثل فان توازن البرواز المذكور
 يكون عين الوضع الذي يصير فيه محور $\overline{آ د}$ رأسيا واذا علق برواز على شكل
 شبه المخرف التماثل وهو $\overline{ا ب د}$ وكان تعليقه أولا من نقطة $\overline{ه}$
 التي هي منتصف قاعدته الصغرى وهي $\overline{ا ب}$ كما في (شكل ٧) وثانيا
 من نقطة $\overline{ف}$ التي هي منتصف قاعدته الكبرى وهي $\overline{ب د}$
 كما في (شكل ٨) فان التوازن يستلزم أن محور التماثل وهو $\overline{ه ف}$
 المحتوى على $\overline{غ}$ التي هي مركز ثقل المحيط ومركز ثقل سطح شبه المخرف

يكون موجودا في وضع رأسي وما ذكرناه من البرهنة على أن مركز ثقل المحيط المستوي والمسطح المستوي التامثلين بالنسبة لمحور ما يكون موضوعا بالضرورة على هذا المحور يمرى أيضا في الاشكال المنتهية بخطوط مستقيمة او منحنية ومن هنا تحدث الدعاوى الالآتية وهي

كل قوس كقوس دائرة $\overline{أ ب ث}$ (شكل ٩) يكون متماثلا بالنسبة لنصف القطر وهو $\overline{و ب}$ المار بمتوسط هذا القوس فإذا كانت نقطة $\overline{غ}$ التي هي مركز ثقل المحيط اوسط قوس الدائرة المذكور موضوعة على نصف قطر $\overline{و ب}$ وبناء على ذلك اذا علق قوس دائرة $\overline{أ ب ث}$ من منتصفه وهو $\overline{ب}$ كان طرفاه وهما $\overline{أ}$ و $\overline{ث}$ على افق واحد ومتوازيين (وبغنى التنبية على انه لا يكون لمركز الثقل في قوس الدائرة ولا في شبه المنحرف وضع كوضع مركز سطحهما)

ويجربى ذلك في مسطح قطع $\overline{أ ب ث}$ وفي مسطح قطاع $\overline{و أ ب ث}$ واذا انعكس الشكل حدث وضع ثان للتوازن (شكل ١٠) فاذا كانت نقطة التعليق دائما على نصف قطر $\overline{و ب}$ فانه يكون في هذه الصورة كالتي قبلها باقيا على وضعه الرأسي

وحيث ان القطع المكافئ والقطع الزائد متماثلان بالنسبة للصورتا المار برأسيهما فاذا اخذنا بالابداء من رأس $\overline{ب}$ التي هي احد رأسي هذين المنحنيين (شكل ١١) جزأ $\overline{ب أ}$ و $\overline{ب ث}$ المتساويان من هذا المنحنى فان مركز ثقله يكون على المحور فاذا علق حيثئذ هذا المنحنى من رأسه وهو $\overline{ب}$ فانه يكون متوازنا متى كان محور $\overline{ب د}$ تابعا لاتجاه رأسي

وهناك اشكال لها محورا تماثل مثل $\overline{أ ب}$ و $\overline{ث د}$ كالمستطيلات (شكل ١٢ و ١٣) والمعينات (شكل ١٤ و ١٥) ففي هذه

الاشكال يكون مركز الثقل وهو $\overline{غ}$ الذي يلزم أن يكون موجودا على كل من محوري التماثل في نقطة $\overline{غ}$ المشتركة بينهما اعنى في مركز التماثل

فأذن يكون مركز ثقل المحيطات والمساحات المتماثلة بالنسبة لمحورين موجودا في نقطة تقاطع هذين المحورين اعني في مركز التماثل
والاشكال الكثيرة الاضلاع المنتظمة كلها متماثلة بالنسبة لعدة محاور ويظهر من ذلك كثير من قط التعلق التماثل المتنوعة بقدر ما يوجد من محاور التماثل
فأذن يكون مركز ثقل المحيط ومركز ثقل الاشكال الكثيرة الاضلاع المنتظمة كلاهما موضوع في مركز ثقل تماثل الاشكال الكثيرة الاضلاع المذكورة
والقطع الناقص متماثل (شكل ١٦ و ١٧) بالنسبة لمحوريه وهما
أ ب و ش د فأذن تكون نقطة غ التي هي مركز ثقل محيط القطع الناقص
المذكور ومسطحه موجودة في مركز تماثل هذا المنحني
والدائرة (شكل ١٨) متماثلة بالنسبة لكل من قطريها وهما أ ب و ش د
وعليه فيكون مركز ثقل المحيط ومسطح الدائرة موجودا في مركز الدائرة
وفي اي نقطة من محيط برواز كثير الاضلاع منتظم او محيط قطع ناقص او محيط
مستدير متعلق به هذا البرواز يكون مركز التماثل دائما في وضع رأسي
مع نقطة التعلق

(بيان مركز ثقل السطوح)

لاجل تعيين وضع هذا المركز يفرض أن السطوح كافرغ من الورق او الواح
من المعدن رقيقة جدا ومتعدة السطح في جميع جهاتها وثقيلة السطح

(بيان مركز ثقل المثلث)

اذا كان المطلوب تحصيل مركز ثقل سطح مثلث كمثلث أ ب ث (شكل ١٩)
فان هذا المثلث يقسم الى عدة قضبان متوازية ومتقاربة من بعضها جدا بحيث
يمكن اعتبارها كاستقييات ثقيلة فيكون مركز ثقلها موجودا على مستقيم أ ه
الذي يقطعها كلها من منتصفها بموجب خاصية الخطوط المناسبة فأذن يكون
مركز مجموعها وهو غ اعني مركز المثلث الكلي على مستقيم أ ه الواصل
من أ الى منتصف ب ث وبمثل ذلك يبرهن على انه يكون موجودا
على ب ف وعلى ث ك الواصلين من ب ومن ث الى

منتصفي أث و أب فاذن يكون مركز ثقل المثلث موجودا في نقطة غ المشتركة بين خطوط أه و بف و ثك الثلاثة ولكن حيث ان تقاطع كه و ه موجودتان في منتصف أب و بث فان مستقيم كه يكون موازيا للمستقيم أث فيحدث حقتن عن هذه الخطوط (كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة) هذا التناسب $٢ : ١ :: \text{بك} : \text{بأ} :: \text{كه} : \text{أث} :: \text{هغ} : \text{أغ}$ فاذن يكون $\text{هغ} = \frac{١}{٢} \text{أغ}$ و $\text{هغ} = \frac{١}{٢} \text{أه}$ وبناء على ذلك يكون مركز ثقل المثلث موضوعا اقولا على المستقيم الواصل من رأسه الى منتصف قاعدته وثانيا في ثلث هذا المستقيم بالابداء من القاعدة

* (بيان مركز ثقل ذي اربعة الاضلاع وهو أبثد) *

اذا اريدت تحصيل هذا المركز (شكل ٢٠) عين من مبدأ الامر مركزا مثلثي أبث و أدث وذلك بإيصال هب و هث الى منتصف أث واخذ $\text{هؤ} = \frac{١}{٢} \text{هث}$ و $\text{هؤ} = \frac{١}{٢} \text{هث}$ ثم اذا وصل كل من تقاطع و و و بمستقيم وو تحدث محصلة فتوى $\text{ف} = \text{أبث و ف} = \text{أدث}$ الواقعين على تقاطع و و و فاذن تكون نقطة غ التي هي نقطة وقوع المحصلة مركز ثقل الشكل ذي اربعة الاضلاع المذكور

ومن السهل تحصيل مركز ثقل الاشكال ذوات اربعة الاضلاع التي بها نوع انتظام

وفي شبه المنحرف وهو أبثد مثلا (شكل ٢٢) يكون مركز الثقل وهو غ موجودا على مستقيم هف الذي يقسم جميع المستقيمتين الموازية للقاعدتين الى اجزاء متساوية ومركز ثقل سطوح متوازي الاضلاع والمعين والمستطيل والمربع يكون في نقطة تقاطع اقطارها كما تقدم في (شكل ٢١) و (شكل ١٤ و ١٥) وغيرها

وذلك لان كل قطر يقسم هذه الاشكال الى مثلثين متساويين والقطر الثاني
القاطع للاول من منتصفه يحتوى على مركزى ثقل هذين المثلثين فاذن يكون
مركز ثقل كل من الاشكال المذكورة موجودا على القطر الثاني وبمثل ذلك
يبرهن ايضا على انه يكون موجودا على الاول فاذن يكون موجودا على كل
من القطرين المذكورين وبناء على ذلك يكون موجودا في نقطة تقاطعهما
فاذا قسم اى سطح متماثل مستويا كان او منحنيا (شكل ٤) بتضبان
متوازية وعمودية على محور التماثل فان مركز ثقل كل قضيب يكون موجودا
على مستوى التماثل او محوره فاذن يكون مركز ثقل السعة المتماثلة موجودا
على مستوى التماثل او محوره

ومتى كان لسعة محورا او مستويا تماثل فان مركز ثقلها يكون في نقطة تقاطع
المحورين المذكورين التي هي مركز الشكل
وبناء على ذلك يكون مركز الثقل في السعات المستوية التي لها محورا تماثل
موجودا في مركز التماثل كما تقدم اثبات ذلك في الكلام على الهيئات المتماثلة
والشرع الآن في ذكر السعات والسطوح المنحنية فنقول
ان السطح المنحني او المركب من عدة مستويات يكون تماثلا بالنسبة لمحور
مضى كان لكل قطع حادث من السطح عمودى على هذا المحور مركز تماثل موضوع
على المحور المذكور وكذلك يكون الحجم المحدد بالسطح المتماثل تماثلا بالنسبة
لهذا المحور

فاذا فعل في السطح او الحجم عدة قطوع عمودية على المحور وقريبة من بعضها
قربا كليا فانه يمكن اعتبار قطوع ذلك الحجم كسطوح بسيطة ثقيلة مركز تماثلها
موضوع على المحور المذكور وحينئذ فتكون محصلة ثقلها موضوعة عليه
وتكون محصلات هذه القطوع مارة كلها بالمحور المفروض رأسيًا فاذن تكون
المحصلة الكلية متجهة على هذا المحور وبالجملة فتكون مراكز ثقل الاجز
والسطوح المنحنية المتماثلة بالنسبة لمحور موضوعة على محور التماثل المذكور
ومتى كان لحجم محورا تماثل كان له مركز تماثل موجود على هذين المحورين

وهذا المركز يكون ايضا مركز ثقل السطح او الجسم ويظهر لنا من القنون كثير من الاشكال التي لها محاور تماثل كسطح اسطويح الدوران فانها متى علفت من نقطة من محورها كان وضع توازن السطح او الجسم عين الوضع الذي يكون به المحور رأسيًا والنجفات المتعلقة بجعل او سلسلة في البيوت والسرايات والهياكل متماثلة دائمًا بالنسبة للمحور وذلك ان النجفة تكون مربوطة في نقطة مامن تقطع هذا المحور ويكون المحور المذكور في وضع التوازن وضع رأسي ومن هذا القبيل شاقول **أ ب** (شكل ١٨ مكرر) فان ثقله وهو **ب** جسم متماثل بالنسبة للمحور مربوط به خيطه

وليس كون المحور رأسيًا مقصورا على الحالة التي تكون فيها النجفة ساكنة بل يكون كذلك في صورتين ايضا احدهما اذا كانت النجفة هابطة او صاعدة وسرحت نقطة ارتباطها تمزك رأسيًا والثانية اذا كانت تدور على نفسها فتكون حينئذ باقية على وضعها الرأسي مالم يعرض لها اصطدام تميل به من احدى جهاتها

ومن هذا القبيل ايضا الشاقول وبذلك الخاصية يتحقق العمل وسيأتى ان الصناعة اكتسبت عدة عمليات عظيمة من خاصية محاور التماثل وهي احتواء هذه المحاور على مركز ثقل الاجسام ولذا كقبل التوغل في ذلك خواص اخرى مهمة جدًا تتعلق بالقوى المتوازنة وبمراكز الثقل فنقول

(بيان مقادير القوى المتوازنة) *

معي كان لقوتى **س** و **ص** (شكل ٢٤) المتوازيتين الواقعتين على تقاطع **أ و ب** من مستقيم **أ ب** محصلة كمحصلة **ز** واقعة على **أ ب** في نقطة **و** حدث

$$س \times وَا = ص \times و ب \quad \text{اي} \quad س : ص :: و ب : وَا$$

فاذا مددنا مستقيم **م و ه** عمودا على اتجاه القوتين المتوازيتين

حدث هذا التناسب وهو $\overline{و} : \overline{ب} :: \overline{و} : \overline{أ}$ كما تقدم (في الدرس الخامس من الهندسة عند ذكر الخطوط المتناسبة)
وبناء عليه يتبدل التناسب المتقدم بهذا التناسب وهو

$$\overline{س} : \overline{ص} :: \overline{و} : \overline{م}$$

الذي يحدث منه $\overline{س} \times \overline{م} = \overline{ص} \times \overline{و}$
وحيث أن $\overline{س}$ و $\overline{م}$ ثابتان فإذا فرضنا أن بعد $\overline{و}$ يكون
على النصف يلزم أن قوة $\overline{ص}$ تكون مضاعفة مثني ليكون الحاصل
ثابتا والتوازن واقعا ولا مانع أيضا من أن نقرض أن بعد $\overline{و}$ يكون
على الثلث فيلزم أن قوة $\overline{ص}$ تكون متضاعفة ثلاث ولا مانع كذلك
من أن نقرض أن بعد $\overline{و}$ يكون على الربع فيلزم أن قوة $\overline{ص}$ تكون
متضاعفة رباع وهكذا أخذ حيث نريد في الازدياد تأثير قوة $\overline{ص}$
في مقاومة $\overline{ز}$ المساوية لمقاومة $\overline{ز}$ والمضادة لها لاجل توازن القوة
المذكورة مع قوة أخرى كقوة $\overline{س}$ موازية لها وازدياد هذا التأثير
يكون أولا بالنسبة لقوة $\overline{ص}$ المذكورة وثانيا بالنسبة لبعده
 $\overline{و}$ وهو بعد اتجاه هذه القوة عن النقطة التي تكون بها المقاومة والحاصل
الذي يستعمل قياسا لتأثير القوة في المقاومة الموجودة بنقطة $\overline{و}$
هو ما يسمى بمقدار القوة بالنسبة لنقطة $\overline{و}$ المذكورة

فإذا كان يكون $\overline{س} \times \overline{م}$ هو مقدار قوة $\overline{س}$ وكذلك يكون
 $\overline{ص} \times \overline{و}$ مقدار قوة $\overline{ص}$ ولتذكر شرط التوازن المبين
بمعادلة $\overline{س} \times \overline{م} = \overline{ص} \times \overline{و}$ فنقول
يشترط في جعل قوتين متوازيتين كقوتي $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ متوازيتين
حول نقطة $\overline{و}$ الثابتة أن يكون مقدار القوتين المأخوذ بالنسبة للنقطة
المذكورة واحدا في كل منهما

ويشترط أيضا أن تكون قوتا $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ يديران المستقيم إلى جهتين
متقابلتين

هذا ولا مانع من وضع المقاومة في نقطة $\overline{أ}$ (شكل ٢٤) واعتبار توازن

قوتى $\overline{ص}$ و $\overline{ز}$ المؤثرتين في جهتين متضادتين فاذا مددنا مستقيم

ا ح غ عمودا على اتجاه هاتين القوتين المتوازيتين حدث هذا التناسب

$$\overline{ص} : \overline{ز} :: \overline{او} : \overline{اب} :: \overline{ا ح} : \overline{ا غ}$$

فاذن يكون $\overline{ص} \times \overline{ا غ} = \overline{ز} \times \overline{ا ح}$

فيكون حينئذ حاصل المقدارين في هذه الصورة كالتي قبلها واحدا في قوتى

$\overline{ص}$ و $\overline{ز}$ المتوازيتين مع قوتى $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ كما انه واحد ايضا

في قوة $\overline{ص}$ وقوة $\overline{ز}$ التي هي محصلة $\overline{س}$ و $\overline{ص}$

ولغذا لان مستقيما اتفق كستقيم $\overline{ام}$ (شكل ٢٥) من نقطة آ

ونجعل مستقيبي $\overline{وم}$ و $\overline{ب د}$ عمودين على هذا المستقيم فيصرت

من خواص الخطوط المناسبة (كما سبق في الدرس الخامس من الهندسة)

هذا التناسب

$$\overline{ص} : \overline{ز} :: \overline{او} : \overline{اب} :: \overline{وم} : \overline{ب د}$$

وننتج من ذلك ان $\overline{ص} \times \overline{ب د} = \overline{ز} \times \overline{وم}$

فيكون حاصل ضرب قوة $\overline{ص}$ في بعد نقطة وقوعها وهي $\overline{ب}$ على

مستقيم $\overline{ام}$ وحاصل ضرب قوة $\overline{ز}$ في بعد نقطة وقوعها وهي $\overline{و}$

على هذا المستقيم هما مقدارا $\overline{ص}$ و $\overline{ز}$ المأخوذان بالنسبة للمستقيم

المذكور ويعرف هذا المستقيم حينئذ بمحور المقادير

وعليه اتفق كان محور المقادير مازا بنقطة وقوع قوة $\overline{س}$ المتوازنة مع قوتى

$\overline{ص}$ و $\overline{ز}$ المتوازيتين كان مقدار $\overline{ص}$ مساويا لمقدار $\overline{ز}$ وكان

هذان المقداران مؤثرين في جهتين متضادتين

فاذا مددنا مستقيم $\overline{ل م ن}$ موازيا للمستقيم $\overline{ام}$ ثم جعلنا $\overline{ال}$

و $\overline{وم}$ و $\overline{ب د}$ و $\overline{ن د}$ اعمدة على هذين المستقيمين المتوازيين حدث

$$\overline{ال} = \overline{ن د} = \overline{وم}$$

$$\text{لكن } \overline{س} + \overline{ص} = \overline{ز}$$

فأذن يكون $\overline{س} \times \overline{ال} + \overline{ص} \times \overline{ن} = \overline{ز} \times \overline{م}$
وتتقاسم أن $\overline{ص} \times \overline{ب} = \overline{ز} \times \overline{وم}$

فعلية يكون $\overline{س} \times \overline{ال} + \overline{ص} \times \overline{بن} = \overline{ز} \times \overline{وم}$
فإذا جعلنا حيث $\overline{ل}$ مستقيما كستقيم $\overline{ل م ن}$ محورا المقادير كان مجموع
مقدارى قوة $\overline{س}$ وقوة $\overline{ص}$ المتوازيين مكافئا لمقدار قوة $\overline{ز}$
الموارة لهما فيكون مكافئا ايضا لمقدار قوة $\overline{ز}$ التى هى محصلة قوتى
 $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ حيث أن $\overline{ز} = \overline{ز}$

وافتراض الا أن هنالك ثلاث قوى مركبة مثل $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ و $\overline{ع}$
(شكل ٢٦) فنقلها الى اى محور من مقادير $\overline{م}$ و $\overline{ن}$ يحدث

أولا $\overline{س} \times \overline{ا س} + \overline{ص} \times \overline{ب ص} = \overline{ز} \times \overline{د ز}$
وثانيا $\overline{ز} \times \overline{د ز} + \overline{ع} \times \overline{ث ع} = \overline{ز} \times \overline{ه ز}$
فأذن يكون $\overline{س} \times \overline{ا س} + \overline{ص} \times \overline{ب ص} + \overline{ع} \times \overline{ث ع} = \overline{ز} \times \overline{ه ز}$
وبناء عليه يكون مجموع مقادير القوى الثلاثة مساويا لمقدار محصلتها

ويبرهن فى المستوى ايضا على أن مجموع مقادير اربع قوى او خمس او ست
او غير ذلك من القوى المركبة يكون مساويا لمقدار محصلتها مهما كان وضع
محور المقادير واتجاهه

وبناء على ذلك اذا مددنا من كل نقطة من نقط وقوع القوى عمودا على محور
المقادير كان حاصل ضرب المحصلة فى البعد الموافق لنقطة وقوعها مساويا
لمجموع الحواصل الموافقة لنقط وقوع سائر القوى المركبة

ويحدث من هذه الخاصية العظيمة تطبيقات مهمة على حسابات فتحز الاجسام
والآلات فلا بد للتلاميذة من حفظها وتعليلها على وجه الصحة والضغط
وقائدة الخاصية المذكورة هى انها تنبذون واسطة وضع نقطة وقوع محصلة
ما يراد من القوى المتوازية من غير أن يكون هنالك ما يجبرنا على اخذ هاتين
وثلاث الخ

ولذلك نمدد مستقيمين عمودين على بعضهما كستقيمي $\overline{وس}$ و $\overline{وص}$

(شكل ٢٧) ثم نزل من قطة وقوع قوى $ح$ و $خ$ و $ر$ و $ض$ الخ وهي $أ$ و $ب$ و $ث$ و $د$ الخ بأعده ١١ و $ب$ و $ث$ الخ و ١١ و $ب$ و $ث$ الخ على $وس$ و $وص$ فإنا كانت $غ$ قطة وقوع محصلة $ز$ فانه يحدث

$$\begin{aligned} غ \times ز &= خ \times ١١ + ب \times ١١ + ث \times ١١ + ر \times ١١ + \dots \\ و غ \times ز &= خ \times ١١ + ب \times ١١ + ث \times ١١ + ر \times ١١ + \dots \end{aligned}$$

ويستخرج من ذلك

$$\begin{aligned} (١) \quad غ \times ز &= خ \times ١١ + ب \times ١١ + ث \times ١١ + ر \times ١١ + \dots \\ و غ \times ز &= خ \times ١١ + ب \times ١١ + ث \times ١١ + ر \times ١١ + \dots \end{aligned}$$

ولان تغفل ان محصلة $ز$ تساوي مجموع سائر القوى المركبة

فإنا تساوت قوى $ح$ و $خ$ و $ر$ و $ض$ الخ وكان عددها ٥ (أي غير متناهية) فان محصلتها $ح \times ٥$ فاذن يحدث من مساواة المقادير

$$\begin{aligned} غ \times ز &= خ \times ١١ + ب \times ١١ + ث \times ١١ + ر \times ١١ + \dots \\ و غ \times ز &= خ \times ١١ + ب \times ١١ + ث \times ١١ + ر \times ١١ + \dots \end{aligned}$$

ويؤخذ من ذلك ان $غ \times ٥ = ١١ + ب + ث + ر + \dots$

$$غ \times ٥ = ١١ + ب + ث + ر + \dots$$

فإذن يكون

وعليه فحي كانت القوى المركبة مساوية لبعضها واخذ لكل منها بعد قطة وقوعها عن محور المقادير وتقسيم مجموع هذه الأبعاد على عدد القوى فانه يحصل بعد المحور عن قطة وقوع المحصلة وهذا الحاصل مستعمل كثير في القنون وإذا لم يكن هنالك الا ثلاث قوى مساوية لقوة $ح$ وواقعة على قطة $أ$ و $ب$ و $ث$ الثلاثة التي هي رؤس مثلث $أبث$ (شكل ٢٨)

وبجعلت قاعدة المثلث المذكور وهي أ ب محورا للمقادير فان بعد
 هذا المحور عن نقطتي وقوع القوتين الواقعتين على رأسى أ و ب يكون
 حيثنذ معدوما فيكون حاصل ضرب هاتين القوتين في قوة ح معدوما
 ايضا فاذن لا يبقى معنا الا هذا التساوى بجعل ر فيه رمزا للمحصلة
 وهو $ر \times غ = ح \times ث$ لكن $ر = ٣ ح$
 فيكون حيثنذ $غ = \frac{١}{٣} ث$ على وجه التعديل

وعليه فيكون مركز ثقل القوى الثلاثة المتساوية الواقعة على رؤس المثلث
 موجودا في ثلث بعد كل رأس عن القاعدة التي تقابلها فاذن يكون هذا المركز
 عين مركز ثقل سعة هذا المثلث (وبمثل ذلك يعرف مع السهولة على أن مركز ثقل
 اربع قوى متساوية واقعة على الرؤس الاربعة من شكل هرمي مثلثي هو عين
 مركز ثقل حجم الشكل المذكور) وهذه قاعدة شهيرة جدا مستعملة غالبا
 في حسابات الميكانيكا

وبعجز تفصيل بعدى نقطة ع وهما غ غ و غ غ (شكل ٢٧)
 عن مستقيبي وس و وص نعرف وضع نقطة غ المذكورة
 التي هي مركز وقوع القوى

ونقطة غ المذكورة هي بمقتضى تعريف مراكز الثقل مركز ثقل قوى
ح و خ و د و ض الواقعة على نقاط أ و ب و ث و د الخ
 (فاذا لم تكن القوى المتوازية كلها في مستوا واحد لم استبدال محاور المقادير
 بمستويات المقادير الاعمدة على بعضها فعلى ذلك نستبدل الاعمدة على محاور
أ ب و ب ر الخ بالاعمدة على المستويات وفي كلتا الصورتين يكون
 مجموع مقادير القوى المركبة مساويا لمقدار المحصلة ويسهل اثبات ذلك
 بخواص الخطوط المناسبة كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة)

ثم ان القاعدة المذكورة آتاهي وطريق اجرائها يستعملان بدون واسطة
 في تفصيل وضع مركز ثقل ما يرا من القوى المتفرقة على الخطوط والسطوح
 او المجموع سواء كان تفرقها مستترا او لا

وأذا كان المطلوب تحصيل مركز ثقل الخط الثقيل وهو $\overline{آب}$ (شكل ٢٩) فإنه يقسم الى اجزاء صغيرة جدًا متحدة الثقل ويضرب كل جزء منها في بعده عن مستقيم أول كستقيم $\overline{و س}$ ثم عن مستقيم ثان كستقيم $\overline{وص}$ ثم يقسم بالتوالي مجموع المستقيبات الأولى والثانية على مجموع القوى فيحدث أولًا $\overline{غ غ}$ وثانيًا $\overline{غ غ}$ ولا يلزم ايضاح الطرق الآتية التي تستعمل لاجل تحصيل مركز ثقل السطح والجوهر الا بالنسبة للمينات فنقول

ان جلا فظة السفن يحتاجون الى قياس سطوح الشراعات وتعيينهم أولًا وضع مركز ثقل كل شرع وثانيًا مركز ثقل مجموع هذه الشراعات لانه كلما كان هذا المركز الاخير المعروف بمركز الشراعات مرتفعًا عن مركز الثقل كان لقوة الهواء شدتها على السفينة وتتقلب حيث لا مانع وبما لا نزاع فيه ان جميع الشراعات الدائرة حول قطة تعليقها تكون كلها نازلة في مستوى تماثل السفينة وتقسم الى مثلثات يكون كل من مسطحها ومركز ثقلها معينًا فاذا فرض (شكل ٢٧) ان قوى $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ و $\overline{ز}$ الخ المتوازية الدالة على سطح هذه المثلثات واقعة على قطة $\overline{آ}$ و $\overline{ب}$ و $\overline{ث}$ الخ التي هي مراكز ثقل المثلثات المذكورة فإنه يحدث بدون واسطة من معادلتى (١) و (٢) المتقدمتين بعدا قطة $\overline{غ}$ التي هي مركز ثقل الشراعات وهما $\overline{غ غ}$ و $\overline{غ غ}$ عن محوري $\overline{وس}$ و $\overline{وص}$ اللذين احدهما افقى والاخر رأسي وفي ذلك كفاية في معرفة وضع مركز الشراعات في مستوى تماثل السفينة

ولتكن سعة $\overline{آم}$ المستوية (شكل ٣٠) محدودة بمضني $\overline{أم}$ وثلاث مستقيبات عمودية على بعضها وهي $\overline{آآ}$ و $\overline{آم}$ و $\overline{م م}$ والمطلوب معرفة مقدار قوة هذه السعة بالنسبة لمستقيم $\overline{أم}$ فلذلك تقسم مستقيم $\overline{آم}$ المذكور الى اجزاء كثيرة عرض كل جزء منها يساوي $\overline{ل}$ ونخذ من قطة المستقيم مستقيبات $\overline{ب-}$ و $\overline{ث-}$ و $\overline{د-}$ الخ الموازية لمستقبى $\overline{آآ}$ و $\overline{م م}$

فاذا اعتبرنا اجزاء معنى $\overline{ا ب ش د}$ الخ وهي $\overline{ا ب}$ و $\overline{ب ش}$
و $\overline{ش د}$ الخ الصغيرة جدًا كخطوط مستقيمة حدث عن ذلك ان سطح
 $\overline{ا م} = \overline{ا} \times \overline{ل} + \overline{ا ا} + \overline{ب ر} + \overline{ش ت} + \overline{د و} + \dots + \frac{1}{f}$
م الخ

واذا فرض اننا استبدلنا من مبدء الامر شكل $\overline{م ا ب ش د}$ الخ
المتصل بشكل $\overline{م ا ب ش د}$ الخ المدرج فان مراكز قتل
هذين الشكلين وهي $\overline{غ}$ و $\overline{ن ح}$ و $\overline{ن ح}$ الخ تكون متباعدة عن $\overline{ا م}$
بكيات تساوي $\frac{1}{f}$ و $\frac{1}{f}$ و $\frac{1}{f}$ و $\frac{1}{f}$ و $\frac{1}{f}$ و $\frac{1}{f}$ كل نظيره
فاذن تكون مقادير المستطيلات التي يتركب منها الشكل المدرج بالنسبة
لحور $\overline{ا م}$ هكذا

$$\overline{ا ر} = \overline{ا} \times \overline{ل} + \overline{ا ا} \times \frac{1}{f}$$

$$\overline{ب ر ش} = \overline{ب} \times \overline{ل} + \overline{ب ر} \times \frac{1}{f}$$

$$\overline{ش ر و} = \overline{ش} \times \overline{ل} + \overline{ش ت} \times \frac{1}{f}$$

فيكون المقدار الكلي $\overline{ا} \times \overline{ل} + (\overline{ا ا} + \overline{ب ر} + \overline{ش ت} + \dots + \overline{م م})$
ومن ذلك يعلم ان المقدار الكلي يكون مساويا لمجموع مربعات مستقيمان $\overline{ا ا}$
و $\overline{ب ر}$ و $\overline{ش ت}$ مضروبا في نصف عرض القواعد المتساوية

فاذا اخذنا شكل $\overline{م ا ا ب ر ش ت}$ م المدرج كان المقدار الكلي

$$\frac{1}{f} \times (\overline{ب ر} + \overline{ش ت} + \overline{د و} + \dots + \overline{م م})$$

وهالك مقدارين يوجد بينهما مقدار سطح $\overline{م ا}$ امر المتصل
احدهما مقدار صغير جدًا وهو

$$\frac{1}{f} \times (\overline{ا ا} + \overline{ب ر} + \overline{ش ت} + \dots + \overline{م م})$$

ثانيهما مقدار كبير جدًا وهو

١٢ ل (بـ ر + ثـ ش + مـ م + مـ م)
 فإذا اخذنا المقدار المتوسط بينهما حدث

١٢ ل (١١٢ + بـ ر + ثـ ش + مـ م + مـ م)
 فإذا كان يكون مقدار السعة أو المسطح وهو مـ م مساويا لنصف عرض لـ
 من جميع الطبقات مضروبا في مجموع مربعات أطوال بـ ر و ثـ ش الخ
 المتوسطة وفي نصف مربع طول ١١ و مـ م المتطرفين

فيكون المقدار المتحصل قريبا من الحقيقة بقدر ما تكون الطبقات المتقدمة
 كثيرة ومتقاربة من بعضها جدا فإذا قسمنا هذا المقدار على سعة مـ م أم
 حدث ع غ الذي هو بعد محور أم عن مركز ثقل هذه السعة
 وهو ع

وعليه فيكون ع غ = $\frac{١١٢ + بـ ر + ثـ ش + + مـ م}{١١ + بـ ر + ثـ ش + + مـ م}$

ثم إن حساب مقدار هذا الكسر هو أسهل شيء إلا أنه ينبغي فيه التأني
 وكذلك يسهل تحصيل هذا المقدار بالهندسة بواسطة المثلثات القائمة الزوايا
 التي خاصيتها أن مربع الوتر يكون مساويا لمجموع مربعي الضلعين الآخرين
 وقد استبان من ذلك أن خواص الهندسة عامة النفع في حل مسائل
 الميكانيكا

وقد تكون الطريقة التي ذكرناها قاعدة تستعمل في سطوح أي شكل
 وليكن المطلوب تحصيل بعد محور س ص عن نقطة ع غ التي هي
 مركز ثقل سعة ا ب ث ... م د ر أ (شكل ٣١) فخذ
 متوازيات ١١ و بـ ر و ثـ ش و د و الخ التي على بعد
 واحد من بعضها وليكن ع غ و ع غ مركزى ثقل شكل

قائمة فان مركز ثقل هذه الاسطوانة يكون ساقطا سقوطا اقريبا على مركز ثقل السعة المذكورة ويحدث من المعادلات المتقدمة بعد مركز ثقل الاسطوانة المذكورة بالنسبة لمحورين عمودين على بعضهما

ولتوهم اقسام اى حجم كسفينة مثلا الى عدة طبقات افقية على بعد واحد من بعضها ومرسومة على الصورة التى فى شكل ٣٢ وتوهم ايضا ان سطح السفينة عوضا عن أن يكون متصلا يكون مدرجا بحيث يكون كدرج السلالم المعوجة على حسب صورة الجسم الصلب وكلما تكاثرت الدرج المسبى فى اصطلاحهم بالمدرجات كان الجسم المدرج قريبا من الجسم الذى يكون سطحه متصلا بالجملة اذا فرضنا ان θ هو الارتفاع الرأسى لساير الطبقات او المدرجات حدث

(أولا) ان حجم كل درجة من السلالم يكون مساويا θ مضروبا فى سطح الطبقة المستعملة قاعدة للمدرج

(وثانيا) ان مركز ثقل الدرجة يكون ساقطا سقوطا اقريبا على مركز ثقل الطبقة المستعمل قاعدة لهذا المدرج

(وثالثا) ان ارتفاع θ مضروبا فى مقدار الطبقة يكون مساويا لمقدار المدرج الذى تكون سعة هذه الطبقة قاعدة له

(ورابعا) ان مجموع حجومات المدرجات يكون دال على حجم Q الكلى للجسم المقروض

(وخامسا) ان مجموع مقادير المدرجات يكون دال على المقدار الكلى للجسم المذكور

وحينئذ اذا كانت المقادير مأخوذة بالنسبة لمحور W وكان مجموعها M

حدث $\bar{X} = \frac{M}{Q}$ فاذا كانت مأخوذة بالنسبة لمحور W وكان

مجموعها م فإنه يحدث $\overline{و غ} = \frac{ق}{ق}$

ولا يخفى ما في هذه الطريقة من الإيجاز والسهولة فلهذا كانت مستعملة عند علماء النظريات وغيرهم ونافعة لجميع المهندسين والصناعية الذين يريدون حساب وضع مركز ثقل أى حجم على وجه الصحة والضبط هذا ولا بد أنى من تكرير القول بأن معرفة هذه الطريقة مما لا بد منه خصوصاً لصناع السفن ولا مانع أن البصارة إذا عرفوها حق المعرفة وأجروا ما مألها من الطرق يستفيدون منها فوائد جليلة تتعلق بسفهم

وقد اقتصرنا هنا على ذكر الوضع الشهير لمركز ثقل عدة سطوح وعدة اجسام صلبة مهمة في الصناعة وإبقينا للتلاميذ الذين يريدون التبحر في المعارف الاطلاع على الكتب الجليلة المؤلفة في هذا المعنى وأثبتنا ما ذكره من الخواصل فنقول

ان مركز ثقل المنشور او الاسطوانة يكون على بعد واحد من القاعدتين العليا والسفلى ويقطع المنشور او الاسطوانة الى جرتين متساويتين بمستوى مواز لهاتين القاعدتين يكون مركز ثقل القطاع عين مركز ثقل المنشور او الاسطوانة

فاذا اخذنا مركز ثقل كل قاعدة من المنشور او الاسطوانة ووصلنا بين المركزين بمستقيم واحد فان منتصف هذا المستقيم يكون مركز ثقل اما للمنشور او للاسطوانة

(فاذا كان المنشور قائماً كان المستوى الذى يقسمه الى قسمين متساويتين بالتوازى للقاعدتين على بعد واحد من هاتين القاعدتين مستوى قائم فاذن يكون محتوياته على مركز ثقل المنشور

ولنفرض انقسام المنشور المذكور الى كثير من الطبقات الموازية للقاعدتين فتكون مراكز ثقل هذه الطبقات تقرىبا عين مراكز ثقل سطوحها وموجودة

على مستقيم واحد مواز لاضلاع المنشور ويكون حيث ذكر مركز ثقل هذا المنشور موجودا على منتصف المستقيم المذكور فاذا فرضنا ان القطوع المذكورة تتحرك على بعضها بالتوازي بحيث تكون مراكز ثقلها موجودة دائما على مستقيم واحد فانه يحدث عن ذلك حجم مدرج مركز ثقله موجود دائما على المستقيم الواصل بين هذه المراكز

وكما فرضت الطبقات رقيقة وعديدة كان الحجم المدرج قريبا من المنشور المائل بدون أن يكون ذلك ما نعا من أن يكون وضع مركز ثقل هذا الحجم على بعد واحد من المستويات المحددة للطبقات المتترفة

فاذن يكون مركز الثقل في المنشور المائل او القائم موجودا في منتصف المستقيم المار بمركز ثقل القاعدتين

ويظهر من تحليل الاسطوانة القائمة الى اسطوانات مدرجة تكون كل درجة منها اصغر من التي يجانبها ان مركز ثقل الاسطوانة المائلة او القائمة يكون موجودا في منتصف المستقيم الواصل بين مركزي ثقل القاعدتين

ويحدث من قسمة مجموع اضلاع المنشور الناقص على عدد الاضلاع بعد القاعدة عن مركز ثقل ذلك المنشور وذلك يكون بقياس هذا البعد بمستقيم مواز للاضلاع

فاذا اخذنا مركز ثقل قاعدة هرم او مخروط ووصلنا بينهما وبين الرأس بمستقيم ثم اخذنا ربع هذا المستقيم بالابتداء من القاعدة او اخذنا ثلاثة ارباعه بالابتداء من الرأس فان النقطة التي تجدناها تكون مركز ثقل اما للهرم او المخروط المذكورين

(واذا قسمنا الهرم الثلاثي الى طبقات رقيقة جدا بواسطة مستويات موازية للقاعدة وجدنا ان مراكز ثقل هذه الطبقات تكون موجودة في مراكز ثقل القطاعات الموازية للقاعدة ولكن حيث ان هذه القطاعات متشابهة ونقطتها المتقابلة موجودة على مستقيم واحد مع رأس الهرم فان مراكز الطبقات المذكورة وكذلك مركز الهرم تكون موجودة على المستقيم الواصل بين مركز

ثقل القاعدة والرأس وذلك يوافق الرأس الأربعة والأوجه المقابلة لها
 وليكن $\overline{ع}$ (شكل ٢٣) مركز ثقل قاعدة $\overline{ا ب ث}$ لهرم
 $\overline{ض ا ب ث}$ فيكون $\overline{ك غ} = \frac{1}{4} \overline{ك ب}$ وليكن أيضا $\overline{غ}$
 مركز ثقل $\overline{ض ا ث}$ فيكون $\overline{ك غ} = \frac{1}{4} \overline{ك ض}$ فاذن
 اذا مددنا $\overline{غ غ ب}$ و $\overline{غ غ ح}$ فان خطي $\overline{ك ض}$ و $\overline{ك ب}$
 يكونان مقطوعين قطعا مناسبا وعليه فيكون $\overline{غ غ}$ ثلث $\overline{ب ض}$
 وكذلك $\overline{ك غ}$ يكون ثلث $\overline{ك ب}$ و $\overline{ك غ}$ ثلث $\overline{ك ض}$
 فبسبب تشابه مثلثي $\overline{غ غ غ}$ و $\overline{غ ب ض}$ يكون $\overline{غ غ} = \frac{1}{4}$
 $\overline{غ ض}$ وبناء عليه يكون $\overline{غ غ} = \frac{1}{4} \overline{ض غ}$ فاذن يكون مركز
 ثقل الهرم موجودا في ربع بعد الرأس عند مركز ثقل القاعدة)
 ومركز ثقل سطح الكرة وجسمها موجود في مركز ثقلها
 ومركز ثقل الطيلسان الكروي موضوع على محور التماثل او على سهم الطيلسان
 ويكون في منتصف هذا السهم
 ومركز ثقل وجسم سطوح الدوران موضوع على محوري تماثلها
 فاذا مددنا مستويا $\overline{ا ط ا م ن}$ محور مخروط قائم مستدير تام او ناقص فان مركز
 ثقل المثلث او شبه منحرف القطاع يكون مركز ثقل سطح المخروط التام
 او المخروط الناقص
 ومركز ثقل حجم الكرة يكون في ثلاثة اثمان نصف القطر بالابتداء
 من المركز
 ومركز ثقل قطعة القطع المكافئ يكون في ثلاثة اثمان السهم بالابتداء
 من الرأس
 ومركز ثقل قطعة الجسم المكافئ المتولد من دوران القطع المكافئ على محوره

يكون في ثلثي المحور بالابتداء من الرأس

(*) بيان استعمال مراكز الثقل لاجل تحصيل حجم بعض الاجسام (*)

ينبغي أن نقرر ونوضح هنا ما بين تعيين بعض الججوم وتعيين مركز ثقل بعض السطوح من المناجاة العظيمة فنقول

لنفرض ان مركز ثقل $\overline{غ}$ (شكل ٢٣) لسطح دائر حول محور $\overline{وو}$ يكون معيناً في رسم محيط $\overline{وم}$ و في حال التحرك سطح دوران ويكون الحجم المصور في سطح الدوران المذكور مساوياً لسطح $\overline{وم}$ و مضروباً في الدائرة التي قطعها مركز $\overline{غ}$

ولا ثبات ذلك ثم من محور $\overline{وو}$ مستويين $\overline{و ح}$ و $\overline{و خ}$ متقاربين من بعضهما قرباً كلياً يتما زاوية صغيرة جداً فيمكن أن يعتبر ان الجسم منته بشقة اسطوانية بين المستويين المذكورين فيكون الاسطوانة الناقصة قاعدة $\overline{وم}$ و على مستوى $\overline{و ح}$ فاذا قسمنا هذه القاعدة الى مربعات صغيرة متساوية كان كل واحد منها قاعدة لمنشور صغير قائم منته بمستوى $\overline{و خ}$

ولكن $\overline{و س م ز}$ احده هذه المربعات الصغيرة فاذا اددنا من نقطة $\overline{س}$ التي هي مركز المربع المذكور خط $\overline{س ع}$ موازياً لمحور $\overline{وو}$ فانه يحدث معنا حجم منشور منشور ارشد تكون قاعدته $\overline{و س م ز}$ و $\overline{س ع}$ ارتفاعه ويكون مساوياً $\overline{و س م ز} \times \overline{س ع}$ وعليه فهذا الحاصل هو مقدار $\overline{و س م ز}$ المقول على مستوى $\overline{و خ}$ بالنسبة الى مستوى $\overline{و ح}$ فاذا كان يكون مجموع حجوم المنشورات اعني حجم قطع $\overline{و خ}$ مساوياً لمجموع مقادير $\overline{وم}$ و في مستوى $\overline{و خ}$ بالنسبة لمستوى $\overline{و ح}$

فاذا اسقطنا في $\overline{غ غ}$ نقطة $\overline{غ}$ التي هي مركز ثقل $\overline{وم و}$ حدث
 سطح $\overline{وم و} \times \overline{غ غ} =$ مجموع مقادير $\overline{وم و}$ في الموضوع
 في مستوى $\overline{وغ}$ بالنسبة الى مستوى $\overline{وغ}$ فاذن يكون الحاصل
 هكذا

سطح $\overline{وم و} \times \overline{غ غ}$ يساوي حجم جزء من جسم الدوران محصور
 بين $\overline{وغ}$ و $\overline{وغ}$

وعلى ذلك فيكون $\overline{غ غ}$ مساويا للمسافة التي يقطعها مركز $\overline{غ}$
 لينتقل من مستوى $\overline{وغ}$ الى مستوى $\overline{وغ}$ متى فرضنا ان المستويين
 متقاربان من بعضهما تقاربا كليا

فاذن يحدث من سطح $\overline{وم و}$ مضروباً في مسافة $\overline{غ غ}$ التي يقطعها
 مركز ثقله عند دورانه حول محوره وهو $\overline{وو}$ حاصل مساو لحجم جزء من
 جسم الدوران محصور بين مستويي $\overline{وغ}$ و $\overline{وغ}$

ويمكن أن نتوهم عدة مستويات بقدر ما يراد تكون متقاربة من بعضها بالكلية
 ومارة بالمحور فيكون حجم جزء جسم الدوران المحصور بين هذه المستويات
 مينا بحاصل ضرب سعة $\overline{وم و}$ في المسافة التي يقطعها مركز ثقل
 هذه السعة

وعلى ذلك متى كان الجسم حاداً من سعة مستوية دائرة حول محور كان حجم
 هذا الجسم مساوياً لحاصل ضرب السعة في المسافة التي يقطعها في هذا التمرکز
 مركز ثقل هذه السعة

والاثبات المتقدم يبقى على حالة واحدة متى كانت سعة $\overline{وم و}$ الدائرة
 حول $\overline{وو}$ لاجل الانتقال من $\overline{وغ}$ الى $\overline{وغ}$ دائرة حول محور ثان
 مرسوم في مستوى السعة لاجل قطع جزء كبير او صغير من سطح الدوران

الجديد ثم حول محور ثالث مرسوم في مستوى السعة وهكذا
وفي جميع هذه الاحوال يكون الحجم المنتهى بسطح جديد مساويا لسطح السعة
الرابعة مضروبا في المسافة التي يقطعها مركز ثقل هذه السعة

(تطبيق)

هذه الطريقة السهلة مستعملة عند الممارجة الماهرين في حساب هجوم
او كيات الاجار والحديد والاشباب التي تحتوى عليها السلام الطلزونية
والعقودات المستديرة ومستعملة ايضا عند مهندسى القناطر والجسور
في حساب خضر وردم الخلمان وكذلك عند الطوبجية في حساب حجم الاجراء
المستديرة من المحارج النارية وهلم جرا ويكثر استعمالها ايضا عند
صناع السفن في تكعيب الاشباب

ويجب على التلامذة أن يلتفتوا كل الالتفات الى ما بين خواص الهندسة
والميكانيكا من الروابط الاكيدة فان الميكانيكا بدون الهندسة ليست الاعمال
بلا علم وممارسة بلا موقف وربما استعالت بدونها وكذلك الميكانيكا لا بد
للهندسة منها فانها تكسب الهندسة اشغالا مهمة وذلك لانها تحدث لها
آلات متنوعة لاجل اجراء سائر العمليات الدقيقة على وجه العضة والضغط
والسهولة ولتفهم الآن عن ساعد الجذوالاجتهاد في بيان النسب التي لا بد منها
لهذين العليين الطريفيين لاجل تطبيقهما معا على الصناعة فنقول

(الدرس الخامس)

(في بيان ما بقى من قوانين التحرك)

قد تقدم الكلام على قوانين التحرك الحاصل من القوى المتجهة على مستقيم
واحد وتقدم ايضا انه اذا كان قوتان واقعيتين على نقطة مادية في اتجاه واحد
مدة زمن معلوم كانت المسافة الكلية المقطوعة في هذا الزمن باقية على حالة
واحدة متى كانت النقطة المادية متحركة في مبداء الامر بالقوة الاولى ثم بالقوة
الثانية

فاذا فرضنا مثلا ان سفينة سارت مع الانتظام والرياح تدفعها من خلفها

وكان عليها ملاح يسير من مؤخرها الى مقدمها مع الانتظام ايضا وفرضنا ان هذا الملاح وصل بعد زمن معلوم الى المقدم متبعا اتجاه سير السفينة فان المسافة الكلية التي يقطعها تكون عين المسافة التي يقطعها الواسار من المؤخر الى المقدم في الزمن المذكور حال استقرار السفينة واذا كان الملاح مستقرا والسفينة سائرة فان الريح يتقله معها بالانتظام في الزمن المعلوم بالسرعة الاصلية لها

وليست المسافات المقطوعة وحدها هي التي تبقى على حالها في هاتين الصورتين بل كذلك القوة الكلية المستعملة لتحريك الملاح والسفينة فانها ايضا تبقى على حالها ولا يلزم للسفينة والملاح اكثر من قوة واحدة سواء كان تحركهما حاصل في زمن واحد وفي ازمته متوالية

والمسافة الكلية المقطوعة بواسطة القوتين المؤثرتين معا هي في الصورتين المذكورتين مجموع المسافات المقطوعة اذا كان كل من القوتين التي تسير السفينة الى الامام والقوة التي تسير الملاح كذلك مؤثرا على حدة

ولنفرض الآن ان الملاح عند تقدم السفينة يرجع القهقري من المقدم الى المؤخر فالحاصل حيثئذ يكون كالملاح مستقرا والسفينة تتقدم او بالعكس بمعنى انها مستقرة وهو تأخر فينا على ذلك تكون المسافة الكلية المقطوعة عند حصول التحركين معا مساوية لتفاضل المسافات المقطوعة متى كان الملاح متحركا بقوته الاصلية دون غيرها او كان متحركا بالقوة التي تتقدم بها السفينة

واقول ان خاصية المادة وهي كونها تقطع المسافة الكلية في زمن معلوم اذا كانت عدة قوى مؤثرة معا على اتجاه واحد وكان تأثيرها بالتعاقب في الزمن المذكور ليست مقصورة على الاجسام المعدة للتحرك بتأثير القوى المتجهة على مستقيم واحد بل هي عامة مهما كان اتجاه تلك القوى

فاذا اردت ان تعرف لذلك مثلا سهلا يستعمل كثيرا في التحركات المركبة فضع نفسك في زورق وسرفيه من جهة الى اخرى حال استقراره فان سار الى

الامام في جهة الطول فانك لا تستر على هذا التحرك الانتقالي بالسرعة
المنتظمة ولواستعملت كمية واحدة من القوة لتحركها بها
فاذا اطلقت بندقية او طبخية من نقطة من السفينة الى اخرى فان الرصاصة تصل
الى النقطة المعينة اذا كانت السفينة مستقرة او متحركة بشرط أن لا يتغير
هذا التحرك لمدة المسافة التي قطعها الرصاصة من وقت خروجها من البندقية
او الطبخية الى الهدف المعين ولنبحث عن الطريق الذي تسلكه الرصاصة
المذكورة فنقول

لفرض ان الرصاصة او غيرها من الاجسام بجسم A (شكل ١) تكون
مدفوعة بقوتين مرموز اليهما بسهمي AS و AV فان اثر القوة
الاولى وحدها فانها تسير جسم A في ازمة متساوية مسافات AR
و RT و ST الخ المتساوية على مستقيم AS الذي هو امتداد
 AS وان اثر القوة الثانية وحدها فانها تسير جسم A المذكور في تلك
الازمنة المتساوية مسافات AR و RT و ST الخ المتساوية على مستقيم
 AV الذي هو امتداد AV

فاذا اثرت قوة AS وحدها مدة الزمن الاول فانها تنقل جسم A الى R
ثم اذا اثرت قوة AV وحدها مدة زمن مساو للزمن المذكور في اتجاهها
الاصلي فانها تسير جسم A على مستقيم RB المساوي لمستقيم AR
والموازي له

واذا اثرت قوة AS وحدها في الزمنين الاولين فانها تنقل جسم A الى T
ثم اذا اثرت قوة AV وحدها مدة زمنين مساويين للزمنين المذكورين
فانها تسير جسم A على مستقيم ST المساوي لمستقيم AR
والموازي له وهكذا

وبالجملة فنقط B و T و D الخ التي ينقل فيها الجسم حين تكون
قوتا AS و AV مؤثرتين على التعاقب هي عين النقط التي يصل اليها
هذا الجسم متى فرض ان هاتين القوتين تؤثران معامدة زمن واحد وايضا

خاصية الخطوط المناسبة (راجع الدرس الخامس من الهندسة) التي يحدث منها
 $\overline{ا ب} :: \overline{ا ث} :: \overline{ا د} :: \overline{ا هـ} :: \overline{ا ز}$...

تستلزم ان نقط $\overline{ا}$ و $\overline{ب}$ و $\overline{ث}$ و $\overline{د}$ الخ تكون على مستقيم واحد
 وان اشكال $\overline{ا ب د}$ و $\overline{ا ث د}$ و $\overline{ا د هـ}$ الخ تكون متوازية
 الاضلاع ويكون لها ورموز موضوع على مستقيم $\overline{ا ب ث د}$ الخ فاذن
 متى وقع على الجسم تأثير قوتين فانه يتركز على مستقيم واحد ويتبع وتر
 متوازي الاضلاع الذي يكون كل ضلع منه دالا على المسافة التي قطعها الجسم
 المذكور اذا كان مدفوعا مدة زمن واحد باحدى القوتين المركبتين

وعليه فمى كان القوتان المركبتان ميّنتين مقدارا واتجاها بمستقيمي $\overline{ا ب}$
 و $\overline{ا د}$ فان محصلتهما $\overline{ا هـ}$ تكون ميّنة ايضا مقدارا واتجاها بوتر متوازي
 الاضلاع وهو $\overline{ا ب د}$ الذي ضلعا $\overline{ا ب}$ و $\overline{ا د}$ وهذا هو المسمى
 بتوازي الاضلاع للقوى

(ولامانع من أن نبرهن على خاصية متوازي الاضلاع للقوى برهنة صحيحة
 فنقول

لنفرض قوتين جيمتا اتفق كقوتى $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ الميّنيتين (شكل ٢)
 بمستقيمي $\overline{ا م}$ و $\overline{ا ن}$ ونتم بهذين المستقيمين متوازي الاضلاع وهو

$\overline{ا م ن}$ ولنوقع على قطعة $\overline{ا ن}$ من مستقيم $\overline{ا م}$ وعلى
 امتداد قوتين متضادتين كقوتى $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ مساويتين لقوة $\overline{ص}$
 فيعدمان بعضهما ولا يغيران محصلة $\overline{س}$ و $\overline{ص}$
 وتركب الا $\overline{ا ن س}$ مع $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ مع $\overline{ص}$

فاذا كانت $\overline{ص}$ المتجهة على $\overline{ا ن}$ مركبة محصلة قوتى $\overline{س}$ و $\overline{ص}$
 المتوازيتين حدث

$\overline{س} :: \overline{ا ن} :: \overline{ا م} :: \overline{ا هـ} :: \overline{ا ز}$

لكن حيث ان خط $\overline{ش ك}$ مواز لـ $\overline{ن ع}$ يحدث من خاصية الخطوط
المتناسبة (كافي المدرس الخامس من الهندسة)

$\overline{ان} : \overline{ن ع} :: \overline{أش} : \overline{ش ك}$

فاذن يكون $\overline{ش ك} = \overline{ش ن}$ وبمستقيم $\overline{ك ن ر}$ تكون

زاويتا مثلث $\overline{ك ش ن}$ وهما $\overline{ش ك ن}$ و $\overline{ش ن ك}$

منساويتين وكذلك زاوية $\overline{ك ن ع}$ تكون مساوية لكل منهما

فاذن يقسم مستقيم $\overline{ك ن ر}$ زاويتي $\overline{ان ع}$ و $\overline{ص ن ع}$

الى جزئين منساويتين وحيث ان قوتي $\overline{ص}$ و $\overline{ع}$ منساويتان

فان محصلتهما وهى $\overline{ر}$ تكون موضوعة على $\overline{ك ن ر}$ اذ لا مقتضى

لكونها اقرب من احدى قوتي $\overline{ص}$ و $\overline{ع}$ المذكورتين اكثر من
ال اخرى

فعلى ذلك تكون محصلة قوتي $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ عين محصلة قوتي $\overline{ص}$ و $\overline{ر}$

لكن تكون محصلة القوتين الاولين مارة بنقطة $\overline{ا}$ المشتركة بينهما وتكون

محصلة القوتين الاخرين مارة بنقطة $\overline{ك}$ المشتركة بينهما فاذن تكون

محصلة $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ مارة بنقطة $\overline{ا}$ و $\overline{ك}$ اعني انهما تكون مارة

بمستقيم $\overline{ا ك ع}$ الذى هو وتر متوازى الاضلاع وهو ام $\overline{ن ع}$

الذى ضلعا وهما $\overline{ام}$ و $\overline{ان}$ دالان على قوتي $\overline{س}$ و $\overline{ص}$

الركبتين

ولاجل تفصيل مقدار محصلة $\overline{ز}$ المتجهة على $\overline{ا ع}$ (شكل ٣) نجعل $\overline{ز}$

مساويا ومضافا لهذه القوة وعليه فتكون قوتى $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ و $\overline{ز}$

متوازنة وتكون كل قوة منها مساوية ومضادة لمحصلة القوتين الاخرين

وترسم متوازي اضلاع يكون وزنه متجهها على \overline{AM} وضلعاه متجهين على
 \overline{AN} و $\overline{AE} = \overline{AE}$ حتى اريد أن \overline{AN} يكون دالاعلى
 المركبة الاولى وكان \overline{AM} اتجاه محصلة \overline{S} وكانت المركبة الثانية
 وهي \overline{Z} متجهه على \overline{AE} لزم أن يكون \overline{AE} ضلعاً من متوازي
 الاضلاع وهو \overline{ANM} فاذن يكون $\overline{AE} = \overline{NM} = \overline{AE}$
 فتكون محصلة $\overline{Z} = \overline{Z}$ مينة للتقدار والاتجاه بمستقيم \overline{AE} وهو
 وزر متوازي الاضلاع وهو \overline{AMN} اذا كان \overline{AM} و \overline{AN} اللذان
 هما ضلعاً متوازي الاضلاع المذكور دالين على المركبتين

وكلاً كان متوازي الاضلاع للقوى مطبقاً على ما ينشأ عن الاعضاء من
 الحركات الصغيرة وعلى حركات الآلات المستعملة والحركات الخارجة التي
 يجبر على عملها لزم أن تعتبر في سائر الاحوال ان ما تستعمله من القوى المركبة
 يكون متجهها على وجه بحيث يحدث منها محصلة متجهه بنفسها الى الجهة التي
 يظهر لنا انها مواهقة وان كمية القوى المدومة تكون قليلة مهمامكن هذا
 وقد تجاسرنا على أن نحقق ان الممارسة المحصورة بالانتباه والمواظبة
 في القويركات والورش يحدث منها في القوة والزمن وفرة فوائد عظيمة ويسيره
 التباعد عن الاخطار الممولة وتوضيح ذلك بمثل يكثر وقوعه مع ما فيه غالباً
 من الضرر فنقول

اذا كانت حركة العربدة سريعة فازجعت راسها فوثب من بابها ونط الى الارض
 فان جسمه يكون مدفوعاً أولاً بتحرك هذه العربدة الاثني وثانياً بقوة
 التناقل الرأسية فتكون محصلة القوتين المائلة ميباً في وقوع هذا الشخص
 حين يصل الى الارض وحيث كان الوتر الدال على محصلة القوتين مؤثراً مع
 الانحراف فان هذا القطر الذي يتركز بمرکز ثقل هذا الشخص لا يمر برجليه
 اذا كان منتصباً فينبغي له حتى لا يقع أن يميل كثيراً عند النط بالجزء الاعلا

من جسمه الى الجهة التي تأتي منها العربية وكثيرا ما تمزقت اعضاء الناس بل منهم من هلك عند التط من عربة مجرورة بافراس ازعجتهم سرعتها وما ذال ذلك الا لجهلهم بهذه الكيفية ودشنتهم عند حصول الخطر

ومنى كان ضلعان كضلعي **اب** و **اث** من شكل متوازي الاضلاع (شكل ٤) متساويين حدث من ذلك شكل معين وقسم الوتر الزاوية الواقعة بين الضلعين الى جزئين متساويين وعليه ففى **ك** كان قوتان متساويتين فان محصلتهما تقسم الزاوية الحادة منهما الى جزئين متساويين فيؤخذ من ذلك انه لا داعى لان تكون المحصلة قريبة من مركبة اكثر من اخرى

ولجميع الطيور شكل متماثل بالنسبة لمستوى **آد** الرأسى (شكل ٥) المتقدم من رؤسها الى اذنانها متى كانت منتصبه مع الاستقامة فاذا طارت حدث من اجنحتها حركات متماثلة وضربت الهواء الذي يرد تلك الاجنحة بقوتين متساويتين موضوعتين على وجه متماثل بالنسبة لمستوى **آد** فاذن تكون محصلة هاتين القوتين موضوعه في هذا المستوى ودافعه لكل طائر على اتجاها مابين هذا المستوى

وكما كان ذراعا الانسان وساهاه مستعملة على وجه متماثل كان جأباه متماثلين ولاجل تحصيل تأثير ميكانيكى ايا كان يلزم ان محصلة مجهودات هذه الاعضاء تمر بمستوى الجسم الانسانى

ومثال هذا التأثير يؤخذ من تعليم فن العوم وذلك لان العائم لاجل أن يتبع الطريق المتجهة على مستوى تماثل جسمه يصنع حركات متماثلة بيديه ورجليه كما فى (شكل ٦) ويعين اندفاع الماء على راحتي اليدين واخص الرجلين بسهام **ف** و **ف** و **ف** و **ف** والمحصلتان برمزى **ر** و **ر**

والسهمان التماثلان الصورة له بالنسبة للمستوى الرأسى المتقدم من رأسه الى ذنبه (شكل ٧) امسا ط موضوعه بالتماثل على جانبيه يحركها مع السوية كالذراعين يحرك لذيديه ورجليه بحيث يحدث من ذلك ومن مستوى التماثل زاوية واحدة وهذا هو سبب كون المحصلة تكون في هذا المستوى وتحدث

سيرا مستقيما

وكذلك السفن المصنوعة على صورة السلك لها متوراسي متماثل ومتعبه من المؤخر الى المتقدم في اريد تسير السفينة امتعمل لذلك قوى متساوية موضوعه بوجه متماثل في كل من جهتي المستوى المذكور وهذه القوى (شكل ٨) تارة تكون مجاذيف وتارة عجلات ذات كفات وتارة افعالا (راجع القوى المحركة في الجزء الثالث من هذا الكتاب) وقد تكون محصلة تلك القوى موضوعه دائما في مستوى التماثل اذا كان الغرض تسير السفينة

سيرا مستقيما

وتدبرؤخذ من العموم الناشئ عن قوة الهواء الجاهي تطبيق ثابت دائما يتعلق بتعطيل القوى وليكن أ ب (شكل ٩) محور السفينة التي يكون فيها مستقيم م ن دالا على مسط الشراع المستند في نقطة و على الصاري فاذا كان و ح دالا مقداما واتجاها على قوة س التي يدفع بها الهواء الشراع ترسم متوازي الاضلاع القائم وهو و ش ح د الذي وتره و ح فاذا حللنا قوة و ح الى قوتين فان احدهما وهي و ش الموجودة في جهة شراع م ن لاتحدث تأثيرا ما تسير به السفينة وثانيتهما وهي و د العمودية على الشراع هي التي دون غيرها تدفع الشراع المذكور والصاري والسفينة واذا حللنا قوة و د الى قوتين اخريين فان احدهما وهي و ه

تكاد تسير السفينة في جهة محور التماثل وثانيتهما وهي و ف تدفعها بالجانب وتحدث التحرك المسبي بالتحرف ويجب على صانع السفن والملاح أن يترجا تركيب سفنهما وتحركها بحيث يحدث من قوة و ه اعظم سر يمكن

ومن قوة و ف اقل انحراف يمكن

وفي متوازي الاضلاع وهو أ ب ش د (شكل ١٠) اذا كانت زاوية ب ا ث منفرجة جدا يكون وتره وهو أ د قصيرا جدا وكلما كانت زاوية ب ا ث صغيرة كان الوتر المذكور ممتدا الى النقطة التي تكون فيها

زاوية بـ آ ث المذكورة معدومة وحيث يكون آ ث موضوعا
على آ ب وتكون المحصلة مساوية لمجموع المركبتين وعليه فإذا لم تكن
زاوية بـ آ ث معدومة لاتكون محصلة قوتي آ ب و آ ث
مساوية بالكلية لمجموع هاتين المركبتين

ويكثر استعمال خاصية محصلة آ د وهي انتقاصها كلما زادت زاوية
 بـ آ ث ولتذكر ذلك مثالا ملاما لتقول

إذا فرض ان المطلوب ربط صندوق م م بجبل من دابة (شكل ١١)

فانه يبدأ بجعل ش آ الذي هو طرف الجبل المذكور مارا من حلقة أ
المصنوعة في نقطة آ التي هي طرف آ ب ثم يشد الطرف الخالص
شدا قويا في اتجاه قريب جدا من آ ث فإذا كان لا يمكن تحصيل تأثير
في هذه الجهة فان هذا الطرف يوجه بالعرض الى آ د ومتى شد بقوة
صغيرة حدث من ذلك زاوية بـ هـ ث اعني ان نقطة آ تجبر على أن تكون

في هـ بحيث ان الوتر الصغير وهو هـ ف من متوازي الاضلاع يكون
عند رسم هذا الشكل دالا على القوة الصغيرة لليد التي توازن شدي الجبل
العظيم وهما بـ هـ و هـ ث ثم يشبك طرف الجبل الخالص تحت
الصندوق ثم بين هـ ب و هـ ث و هـ د الخ وتوصل نقطة هـ الى
نقطة آ بواسطة شد الجبل شدا تدريجيا

وكأنوا حاقبا يستعملون كثيرا السلاح المعروف بالنشاب او السهم فكانوا
يرمون به قوس ش هـ د المرن (شكل ١٢) المشدود بوتر ش د
وكان هذا القوس مستعملا بكثرة وقد تقدم في الدرس الثالث من الهندسة
ان كلمة قوس ووتر ونشاب نقلت من فن الصيد والقتل والحرب واستعملت
في الفاظ العلم ولتذكر تأثير القوس فتقول

ان الانسان يقبض باحدى يديه على قوسه في نقطة هـ ويمسك بالثانية
الطرف الغليظ من النشاب ويشكي على هذا الطرف في نقطة ف التي

هي منتصف الوتر وما يذله من الجهد في ابعاد نقطة ه عن نقطة ف يكون
 ميثا بمقدار ٢ ف غ وكذلك الجهد الحاصل على نصفي الوترين يكون ميثا
 بمقدار غ د و غ ث

فاذا افلقت اليد الموضوعة في نقطة غ طرف السهم فان نصفي وترى
 غ ث و غ د يأخذان طولهما الاصل وذلك لانهما يؤثران في السهم
 بقوة واحدة ويجبرانه على اتباع اتجاه الوتر وهو غ ف ه

وعند الرمي تكون نسبة الشد الحاصل من كل نصف وتر الى القوة التي بها يرمى
 سهم اب كنسبة طول غ ث او غ د الى ضعف غ ف
 لان غ ف هذا هو نصف وتر متوازي الاضلاع للقوى المتألف من ضلعي
 غ ث و غ د

ولكن حيث كان قوس ش ه د في العادة جسما ه رنا فانه يكاد أن يكون
 قائما مع الشدة بقدر انطباق زاوية ش غ د وبذلك تزداد القوة التي
 يرمى بها السهم ايضا وبهذه الطريقة يمكن لاي انسان ان يستطيع بده رمي السهم
 بعيدا عنه الا ببعض خطوات مع يسير من القوة أن يرمى هذا السهم الى ابعاد
 كبيرة بقوة كافية ويجرح به او يقتل الانسان او غيره من الحيوانات الكبيرة
 وهالك مثلا لاخرين لك شدة قوة صغيرة جدا تؤثر بكيفية مماثلة للكيفية التي
 ينشئ بها وتر القوس فتقول

اذا كان الغرض ان الهربه (اي العود الافرنجي) يكون له درجة من الشد
 يصل بها الى صوت لائق له لزم أن يستعمل لذلك مفتاح تضاعف به قوة ملاوي
 الاوتار اربع مرات او خسا فان الرجلين الشديدين اذا قبض كل منهما بيده

على طرف بعض اوتار من العود وشده حتى يبلغ الغاية لحقهما من ذلك مشقة
وتعب اذا كانت تلك الاوتار متصلة بهذه الآلة كاتصال الجزء ب كله
وقد حسب المهندس بروني شد اوتار البيانو (اي القانون الاخرنجي) فوجد
مجموع شدته يزيد على قوة اربعة افراس ومع ذلك فالنقي الصغير الذي اذا مده
ذراعيه على طول اوتار العود لا يستدعي الا بالمشقة يجدي في اصابعه الطيفة
قوة كافية للقبض على هذه الاوتار والضرب عليها من منتصفها باتامه بحيث
يحدث من ذلك نصفا وترين منزويان وهما ضلعا كثير الاضلاع (شكل ١٣)
الذي يدل وتره على الجهد الحادث من اصابع النقي المذكور ومتى فزع يده
كان في هذا الجهد قدرة كافية لان تحدث للوتر تقصير الاهتزاز الذي تسمع رتبه
مدة طويلة ما لم يقطع بالدواصة او ينعدم بين انغام الاهوية والمقامات
التواليه

ولم نذكر الى هنا الا ما يتعلق بمتوازي الاضلاع البسيط للقوى اى الذي لم يتكون
الامن مركبتين ومحصلتهما

ولنفرض الان ان هناك ثلاث مركبات مؤثرة في نقطة مادية كنقطة A
(شكل ١٤) وليكن AB و AC و AD اجزاء من مستقيم واحد
دالة طولها واتجاهها على المركبات الثلاثة المذكورة فاذا رسمنا متوازي الاضلاع
وهو $ABDE$ باعتبار مستقيمي AB و AC كضلعين له كان وتره
وهو AE الدالة على مقدار محصلة القوتين الاولين واتجاههما بمعنى ان
الجسم الواقع عليه تأثير قوتي AB و AC معا او قوة AE وحدها
يقطع مسافة واحدة في اتجاه واحد وزمن واحد

ولتركب محصلة AE الجزئية مع القوة الثالثة وهي AD فيحدث من
المستقيمين AE و AD المستقيم AF وهو AF ويكون AF
الذي هو وتر هذا الشكل الجديد دالا بالضرورة على محصلة AD و AE
الا ان التأثير الحادث من AE يكون مكافئا للتأثير الحادث من قوتي AB

و ا ث فاذن يكون التأثير الحادث من قوة ا ف مكافئاً للتأثير الكلي الحادث من قوى ا ب و ا ث و ا د الثلاثة

ويمكن الوصول الى هذا الحاصل بكيفية اخرى وهي انه متى كانت قوتان كقوتى ا ب و ا ث (شكل ١٥) مؤثرتين في جسم بجسم ا فان اثرت فيه القوة الاولى وهي ا ب وحدها في زمن معلوم فانها تنقله من ا الى ب وان اثرت بعدها القوة الثانية وهي ا ث وحدها فانها تنقله ايضا من ب الى هـ بالتوازي لقوة ا ث بحيث يكون ب هـ = ا ث ثم ان اثرت فيه قوة ثالثة كقوة ا د وحدها فانها تنقله من هـ الى ف بالتوازي لقوة ا د بحيث يكون هـ ف = ا د

وبالجملة فالجسم المذكور الواصل الى ف بالتأثير المتوالى الحادث من القوى الثلاثة يكون موجودا مع الضبط في النقطة التي كان يصل اليها لو كانت هذه القوى الثلاثة كلها مؤثرة فيه في زمن واحد لاجل نقله وهذه الكيفية لاتغير الكيفية السابقة الا بكونها دون المتقدمة في الصعوبة وذلك لانه يقتصر فيها الضلع الثالث والرابع من متوازي اضلاع شكل ١٤

فاذا كان هنالك عددا من القوى كقوى وا و وب و و ث الخ (شكل ١٦) المؤثرة في نقطة مادية فان هذه النقطة تنقل في زمن معلوم الى مسافة ابعد من المسافة التي نقل اليها الجسم في صورة ما اذا اثرت فيه القوى كل واحدة على حدة ثم مع التوالى لاجل نقله الى اتجاهها الاصلى في الزمن المذكور وحيث ان المتواليات مستقيمت ا ب و ا ر و ا د الخ موازية ومساوية في الطول مستقيمت وب و و ث و و د الخ ثم نصل نقطة و الاولى بنقطة هـ الاخيرة من هذه الاضلاع المتسلسلة فيكون مستقيم وهـ دالا على محصلة جميع المركبات الميمنة بمستقيمت وا و وب و و ث و و د الخ

فاذا غلقنا حيث نذ بمستقيم وهـ كثير الاضلاع وهو وا ر د هـ...

كل هذا المستقيم دالا على المحصلة السكية متى كان كل من الاضلاع دالا على
قوة مركبة

فإذا عكست محصلة $\overline{وه}$ الى $\overline{وه}$ فان هذه القوة المحصلة المضادة
للمركبات بدون واسطة تكون موازنة لتلك المركبات ومن هنا الدعوى النظرية
اللطيفة المنسوبة الى المهندس لينتز وهي اذا كان هناك قوى بقدر ما يراد
واقعة على نقطة مادية وكانت هذه القوى مينة مقدارا واتجاهها في سمت
ستابع باضلاع شكل كثير الاضلاع منتظما كان او غير منتظم غير أنه يكون
تاما ومغلوفا فان هذه القوى كلها تكون متوازنة بالضرورة

ويوجد في كثير الاضلاع وهو $\overline{من ح خ ر ض}$ (شكل ١٧) زاوية

داخله \angle زاوية $\overline{خ}$ وهذه الزاوية لا بد منها في عمل كثير الاضلاع لان اتجاه

سهم $\overline{خ ر}$ يدل على الجهة التي ينبغي أن يرسم فيها ضلع $\overline{خ ر}$ لتكون
القوى المتوازنة متعاقبة كلها في جهة واحدة وبالجمله فكل ضلع من كثير
الاضلاع يدل على مقدار القوى واتجاهها

وفائدة الكيفية التي اعتبر فيها تركيب القوى هي انها تستعمل ايضا في القوى
المؤثرة في مستو واحد او عدة مستويات مختلفة وذلك مهم جدا في كثير
من الحالات

ونفج من ذلك انه اذا لم تكن قوى $\overline{وا}$ و $\overline{وب}$ و $\overline{و ث}$ و $\overline{ود}$ الخ
(شكل ١٦) كلها في مستو واحد لا تكون اضلاع \equiv كثير الاضلاع

وهو $\overline{وا ر ش د}$ الخ الموازية لاتجاهات تلك القوى كل لتظهير في مستو
واحد غير أنه في هذه الصورة تكون محصلة جميع القوى وهي $\overline{وه}$ مينة
مقدارا واتجاهها بمستقيم $\overline{وه}$ الممتد من نقطة $\overline{و}$ التي هي مبداء كثير
الاضلاع وهو $\overline{وا ر ش د}$ الخ الى نقطة $\overline{ه}$ التي ينتهي فيها آخر الاضلاع
الدالة على القوى المركبة

وكما سهل عمل كثير الاضلاع وهو وارث الخ على الورق او على الارض اذا كان هذا الشكل بتمامه في مستو واحد كان عمله صعبا ومتعبا اذا لم تكن اضلاعه التي يتركب منها في مستو واحد

هذا وقد ظهر لنا ما سبق في الدرس الثالث والسابع والثالث عشر من الهندسة في الجزء الاول من التعريفات والقضايا طريقة مختصرة مضبوطة في تحصيل اتجاه المحصلة ومقدارها ومهما كان عدد القوى المركبة واتجاهها ومقدارها وحاصلها انه لاجل تحصيل مسقط مستقيم مرن (شكل ١٨)

الموضوع على مستو بالنسبة الى محوري وس و وص يكفي أن تنزل من نهايتي هذا المستقيم بعمودين على محوري المسقط المذكور فيكون جزأ م و م المحصوران بين هذين العمودين هما المسقطان المطلوبان

فاذا مددنا م الى ا و م الى ب فانه يحدث متوازي الاضلاع وهو م ا ب الذي يمكن اعتبار مرن فيه كقوة محصلة

مركبتها مبينتان بمسقطي م ب = م و م ا = م حيث ان هذين المستقيمين الاخيرين متوازيان ومحصوران بين متوازيين آخرين كما تقدم في الدرس الثاني من الهندسة

وما ذكرناه في شان القوة الواحدة يمكن اجراؤه في قوتين او ثلاثة او اربعة او اكثر من ذلك ومهما كان مقدار القوى واتجاهها فان كل واحدة منها تكون مبينة بمسقطها على محورين متقاطعين

فاذا كان هناك عددا من القوى مثل مرن و ن ح الخ (شكل ١٨) فانه يكفي أن نأخذ مسقطها على محوري وس و وص المتقاطعين ثم نعتبر أن الجسم يتحرك من جهة على وس بقوى م و ح و ع الخ ومن جهة اخرى على وص بقوى م و ح و ع الخ فيكون التأثير الناشئ عن ذلك واحدا دائما لانه حيث لا يكون مستقيم

مخ الفائق لكثير الاضلاع وهو من ح خ دالا على محصلة قوى

من و ن ح و ح خ ويكون مسقطاها م غ و م غ هما مجموع المساقط الجزئية او فاضلها فاذا كانت قوى م د و د ح و ح غ الخ و م د و د ح و ح غ الخ مؤثرة على مستقيم واحد فان محصلتها تكون أولا متجهة على هذا المستقيم وثانيا تكون مساوية لمجموع سائر القوى المتجهة الى جهة ناقصا مجموع القوى المتجهة الى اخرى تقابلها ولائشي اسهل في العمل من هذا البيان

ولنفرض (شكل ١٧) جلة من القوى مبنية بمستقيمات من

و ن ح و ح خ الخ فاذا اسقطنا هذه المستقيمات على محور وس في م د و د ح و ح غ الخ فان قوى م غ و ر ض يكون دفعهما الى جهة مضادة لجهة م د و د ح و ح غ الخ وعلى ذلك تكون المحصلة مساوية $\overline{م د} + \overline{د ح} + \overline{ح غ} - \overline{م غ} - \overline{ر ض}$ ومن البديهي ان $\overline{م د} + \overline{د ح} - \overline{م غ}$ هو م خ وان $\overline{ح غ} - \overline{ر ض}$ هو خ ض فاذن تكون المحصلة الكلية مساوية م غ + خ ض

اعني م ض وهذا الجزء المحوري هو مسقط م ص الذي يفتق كثير الاضلاع للقوى وبناء على ذلك يكون هو الدال على محصلة من

و ن ح و ح خ الخ

فاذا كانت جميع قوى من و ن ح و ح خ الخ (شكل ١٨) في مستوى محوري وس و وص فان التفرعات الحادثة من نقطة م على محوري المسقط تكون دالة دلالة تامة على التفرعات الحادثة من م بواسطة قوى مركبة ايا كانت كقوى من و ن ح

و ح خ الخ

ولكن اذا لم تكن القوى المذكورة في مستوى المحورين لم اخذ ثلاثة محاور عمودية على بعضها بانأخذ مثلا مستويا رأسيًا ومستويين اثنين احدهما متجه من الشمال الى الجنوب والاخر من المشرق الى المغرب وعلى ذلك اذا اترلنا على المحاور باحدة من نهايتي كل مستقيم دال على قوة كانت المساقط دالة على ثلاث قوى بحيث يقول الامر الى ان النقطة المادية المتحركة بالتوالي على اتجاه كل من القوى المذكورة تصل الى الوضع الذي كانت تصل اليه لو كانت متحركة بقوة واحدة اصلية

وكذلك يتضح بواسطة متوازي الاضلاع تحليل قوتين وتركيبهما على مستوى ويتضح ايضا بواسطة متوازي السطوح تحليل تركيب ثلاث قوى في الفراغ كما تقدم في المدرس السابع من الهندسة الذي تكلمنا فيه على متوازيات السطوح

وحيث اذا مددنا $\overline{أغ}$ (شكل ١٩) من زاوية $\overline{أ}$ الى زاوية $\overline{غ}$ المقابلة لها من البديهي انه اذا اخذنا الوتر المذكور مع اضلاع $\overline{أب}$ و $\overline{أث}$

$= \overline{ب ه}$ و $\overline{أ د} = \overline{ه غ}$ الثلاثة فحصل من ذلك كثير اضلاع

$\overline{أ ب ه غ}$ مغلوفا من سائر جهاتها فاذن يمكن أن نعتبر ان $\overline{أ غ}$ الذي هو

ضلع كثير الاضلاع المذكور يكون دالا مقدار واتجاهها على قوة $\overline{أ غ}$ المتوازنة مع القوى الثلاثة الميمنة على وجه التناظر مقدارا واتجاهها بمستقيمت $\overline{أ ب}$ و $\overline{أ ث}$ و $\overline{أ د}$

فعلى ذلك اذا كانت قوة $\overline{أ غ}$ مثلا تكفي في نقل نقطة $\overline{أ}$ الى نقطة $\overline{غ}$ في زمن معلوم فان قوة $\overline{أ ب}$ تنقل في زمن مساو لهذا الزمن النقطة المذكورة من $\overline{أ}$ الى $\overline{ب}$ ثم تنقل كذلك قوة $\overline{أ ث}$ في زمن مساو له نقطة $\overline{أ}$ من $\overline{ب}$ الى $\overline{ه}$ وكذلك قوة $\overline{أ د}$ تنقل في زمن مساو له ايضا

قطعة ١ من ٥ الى غ

فاذن اذا كانت القوى الثلاثة الميئة بمستقيبات أ ب و أ ث و أ د
مؤثرة معا فانها تنقل ١ الى غ في عين الزمن الذي تكون فيه كل من
هذه القوى مؤثرة على حليتها بالتوالي او الذي تكون فيه محصلة أ غ
مؤثرة دون غيرها

ولننبه هنا على انه اذا اطلق اسم محاور المسقط على مستقيبات أ ب و أ ث و
أ د فان اجزاء أ ب و أ ث و أ د تكون بالضبط على هذه

المحاور مساقط لوزن أ غ الذي هو محصلة تلك القوى الثلاثة
ثم ان هذه الطريقة التي سلكتها وان كانت مطرولة الا انه لابد منها
حتى يعرف ان الخواص التي يستصعبها المبتدى ويهاجمها انما هي من قبيل
المبادئ

واذا حللنا كلاما من القوى التي يمكن وقوعها على جسم واحد الى قوتين
موازيتين لمحورين معلومين او الى ثلاث قوى موازية لثلاثة محاور معلومة فانه
يتحصل من ذلك كثير من القوى الموازية لكل محور بقدر ما يوجد من القوى
المختلفة الواقعة على الجسم مهما كان مقدارها واتجاهها وبذلك يؤول تأثير
القوى التي لا مشابهة بينها من حيث اتجاهاتها الى تأثير القوى المتوازية
بلا واسطة

فاذا كان لسائر القوى المتحصلة من التحليل المذكور محصلة واحدة مارة بمركز
ثقل الجسم فانها تسلك نفس المسار الذي تسلكه الى الامام على خط مستقيم بدون
دوران كالمحولة الى قوة واحدة مساوية لجمعها وموازية لاتجاهها
المشترك بين

واذا كان لسائر القوى المذكورة محصلة غير مارة بمركز الثقل المتقدم فان هذه
المحصلة تؤثر في الجسم تأثيرا يديره ويلزم الاعتناء بالبحث عن كيفية حصول

هذا التحرك لنفرض أن قوة AS لا تكون مارة بمركز الثقل وهو G
 (شكل ٢٠) فمن حيث أن G عمود ممتد من نقطة G الى AS
 الذي هو اتجاه تلك القوة فان تحركنا الجسم لا يتغير متى اضيف اليه قوة واحدة
 كقوة G موزنة ومساوية لقوة AS وقوتان كقوتى $اص$
 و $اص$ الموازيان لقوة G المتجهتان بالتضاد والمساوية كل واحدة
 منهما لنصف G والموضوعتان على وجه بحيث تكون $G = ١غ$
 لان قوة G متوازنة مع $اص$ و $اص$ غير أن قوة $اص$
 لما كانت نصف قوة AS وكانت متجهة الى جهة مضادة لها اعدمت
 نصف AS وبناء على ذلك يكون الجسم متحركا بثلاث قوى احدها قوة
 G المارة بمركز ثقل الجسم والمساوية لقوة AS والثانية نصف AS
 المؤثرة في جهة AS والثالثة $اص$ المساوية لنصف AS والمتجهة
 الى جهة مضادة لها
 وحيث كانت القوتان المساويتان لنصف قوتى AS و $اص$ بعيدتين
 بالسوية عن مركز الثقل وهو G كانتا مؤثرتين تأثيرا به يدور مركز الثقل
 المذكور بدون أن يسير الى جهة اكثر من اخرى حيث لا مقتضى لكون
 احدى القوتين المذكورتين المتساويتين المتجهتين بالتوازي الى جهتين
 متقابلتين تجذب المركز المذكور الى جهتها زيادة عن القوة الاخرى
 فعلى ذلك أولا لا يتقدم مركز الثقل ولا يتأخر بواسطة تأثير نصف قوتى
 AS و $اص$ وثانيا يكون هذا المركز منقولا بتأثير قوة G
 على خط مستقيم بالنسبة الى تأثير قوة مساوية لقوة AS وموازية لها
 وبناء على ذلك اذا كان هناك عدة قوى مؤثرة في جسم له صورة ما وحلنا أولا

جميع تلك القوى بالتوازي الى محاور معلومة ثم عينا ثانيا المحصلة الكلية للقوى المذكورة لاجل نقلها بالتوازي الى مركز النقل فان هذا المركز يتحرك تحركا مستقيما كالو كانت تلك القوى واقعة كلها على مركز النقل المذكور بدون واسطة وهذه هي القضية الشهيرة المتعلقة بحفظ مركز الثقل وتسميته بذلك مما لا بد منه لاسيما في هذه الخاصية وهي أن التحرك كان الداخلي الحادثة في الجسم من تأثير اجزائه بعضها في بعض او من مقاومتها لبعضها لا تغير شيئا من تحرك مركز الثقل بالنسبة لنقط الفراغ الخارجية

ثم ان لعب البليارد (وهي تحتة كبيرة يلعب عليها بكر صغيرة من العاج اوسن القيل) يؤخذ منه عدة امثلة متنوعة واضحة جدا وخواص التحرك الحادث للاجسام من تأثير قوة غير مارة بمركز ثقلها فاذا دفع البيل (وهي كرة صغيرة من العاج اوسن القيل) على غير اتجاه مركزه بل على عينه مثلا فانه يسير اولاً الى الامام بالسرعة التي كان يسير بها لو دفع على اتجاه مركزه وثانياً يكون له تحرك مستدير من اليمين الى الشمال وذلك مع السير الى الامام فاذا دفع من فوق مركز الثقل فانه يسير الى الامام ايضا مع السرعة التي كان يسير بها لو دفع على اتجاه مركزه ويكون له تحرك دوران من فوق الى تحت وذلك ايضا مع سيره الى الامام

وقد يكون التأثير بخلاف ذلك اذا وقع البيل على شمال مركز الثقل او تحتها فاذا دفع من تحت مركز الثقل فان المقاومة الحادثة من احتكاك سطح البليارد بالبيل تكون متزايدة واذا دفع من تحت المركز وكان ذيل قضيب الدفع مرفوعا فانه يسير مع البطيء كالو كان ذيله مؤثرا بالتوازي للبليارد وحيث يمكن ان سرعة الدوران تنقله الى الغاية التي لا تنعدم فيها السرعة المذكورة بتأثيرها بسبب الاحتكاك المذكور عند انعدام سرعة البيل المتواليه وزوالها بالكلية وحيث كانت مقاومة سطح البليارد مستمرة دائماً كالقوة المعطلة كان بعض هذه المقاومة منقصة لسرعة دوران البيل والبعض الآخر مؤثرا كالو كان منقولا الى مركز البيل المتأخر بذلك البعض وهذا هو السبب في انه يمكن من اول دفعة

من ذيل قضيب البليار تقديم البيل ثم تأخير
وهناك تأثيرات مشابهة لتأثيرات لعب البليار ووجد في تحرك كل المدافع
والقنابر ويحصل منها فوائد عظيمة جدا معرفتها من اهم الاشياء في فن الحرب
وهي الفرض الاصلى من فن الطوبجية

(الدرس السادس)

في بيان آلات البسيطة وهي الحبال والقناطر المعلقة وعدد خيول العربات
وادوات السفن ولوازمها وما اشبه ذلك

يطلق اسم الآلات على الاجزاء المادية المجمعة المستعملة لنقل اى قوة من
القوى بان يغير اتجاهها او سرعتها او المسافة الاقصى التى يقطعها الجسم
في زمن معلوم

والآلات البسيطة سبع ومنها تألف جميع آلات المركبة وهذه الآلات
البسيطة هي الحبال والرافعة والبكر والمخاف (اى التخصيق) والمستوى المائل
والبرجة والخابر ووسنين كلاهما تفصيلا على حسب ما تقتضيه اهمية
موضوعه ولتشرع في ذكرها على هذا الترتيب فنقول

(بيان الحبال)

قد فرض المهندسون اولاً لاجل سهولة معرفة خاصية الحبال المستعملة
لنقل القوى انها لينة وغير قابلة للامتداد ومجردة عن التناقل ثم نظروا لما يلزم
اعتباره فيها من شدةها كثيراً او قليلاً ومدتها وتناقلها فبحثوا (بالتفكر
والجربة) عن التغيرات التى يمكن عر وضها للخواص الاصلية بخواص
المادة التى تتركب منها الحبال المذكورة

ثم ان تحويل المسائل الصعبة الى اصولها السهلة ليس الا كيفية عظيمة بها
يتقوى الفهم السقيم وتسهل وساطة العمل فلذا اترناها في البحث عن خواص
الحبال وسائر الآلات البسيطة

فلنفرض اذن حبل على غاية من اللين غير قابل للامتداد ومجردة عن التناقل
ثم نبداً بايقاع قوة واحدة على كل من طرفي هذا الحبل ونفرض ان هاتين

القوتين الشاذتين للجل في جهتين متقابلتين متساويتان فبتأثيرهما يكون
الجل مشدودا شدة مستقيما وطرفاه على اعظم بعد يمكن فعلى ذلك تكون القوتان
المذكورتان متوازيتين اذ لا داعي لكون الجبل المشدود من طرفيه يتقدم
الى جهة أكثر من اخرى

فاذا كان هناك قوة ثالثة شادة للجل في جهة احدى القوتين الاوليين
فان هاتين القوتين يعدمان بعضهما ويكون تحرك الجبل من جهة القوة الثالثة
قطر كالمكانت القوتان الاوليان لم يوجد اصلا وهذا التحرك الحادث على اتجاه
الجل لا يمنع من أن يكون على خط مستقيم فاذا لا يكون الجبل مشدودا
الابالقوة الثالثة واما القوتان الاوليان المتوازيتان فلا يحصل منهما الا هذا
التوازن الناشئ عن شد كل منهما للجل

وتتبع ذلك تكون واحدة مهما كان طول الجبل ويؤخذ من ذلك ان الشد
الحادث يكون ايضا واحدا في كل من نقط الجبل التي هي ث و آ الخ
وبالجملة فلاجل معرفة شد الجبل من نقطة منه كنقطة ث (شكل ١)
فترض ايقاع قوتي آس و بص على تلك النقطة وكذلك لاجل
معرفة شدة من نقطة آ فترض ايقاع قوتي آس و اص عليها
ولا يتغير تأثير هاتين القوتين مهما كانت نقطة وقوعهما

وينتج من ذلك ان شد الجبل من نقطة ث مثلا يكون (كانتقدم قريبا)
واحدا كما في طرف آ فاذا كان الشد واحدا في جميع اجزاء الجبل
ولنفرض الآن انه يكون للجل في جميع طوله قوة ثابتة ماعدا نقطة واحدة
تكون اضعف من غيرها فبازيادة القوتين المتضادتين تدريجا بكمية واحدة
يتوصل الى حد يكون فيه الشد (المفروض انه واحد فيما عدا النقطة المذكورة)
قليل لاجل تقص الجبل في النقطة الضعيفة المذكورة دون غيرها من النقط
الاخرى فاذا حصل تقص الجبل في هذه النقطة ويكون التوازن معدوما

وهذه الكيفية هي التي تستعمل في القنود مع الضبط لقياس قوة الحبال فاذا اريد
استعمال الحبال في تثبيت الاشياء التي ينبغي المحافظة على امساكها وفي تعليةها

فلا بد من تحقق أن هذه الحبال تقبل ما يعرض لها من المجهودات العظيمة بدون قسص ولا انقطاع وعلى ذلك فيلزم أن نعرف من مبدء الامر المقاومة التي تقبلها تلك الحبال والقطن المتخذة من الحديد المستعملة الآن عند البحارة الفرنسية لانه اذا نظرت في كل كلبه من السلسلة الى رداءة الحديد المتختمه او رداءة صناعته يكتفى اذنى قوة في جعل القنة عرضة للكسر كما اذا كانت الكلبات كلها على هذا النسق

واذا كان الحبل قصيرا قلت الموانع التي تمنعه عن أن يكون في بعض نقطه اضعف منه في البعض الآخر واذا اخذنا طرفي جبل غير متساويين في الطول وشدناهما شدا متساويا فان الطرف القصير منهما يكون قابلا لتعمل جهده عظيم من غير انقطاع اكثر من الطرف الطويل ولنفرض ان كلا من الطرفين يقع عليه قوى متعدده لاجل القوة الواحدة

فلتكن $ا$ و $ا$ و $ا$ و $ا$ (شكل ٢) هي القوى المؤثرة في الحبل من احد طرفيه و $ب$ و $ب$ و $ب$ و $ب$ هي القوى المؤثرة فيه من الطرف الاخر فيمكن ابدال قوى $ا$ و $ا$ و $ا$ و $ا$ الخ بقوة واحدة تكون محصلة لها وكذلك تبديل قوى $ب$ و $ب$ و $ب$ و $ب$ الخ بقوة واحدة تكون ايضا محصلة لها ثم نعين تلك القوة بموجب القوانين الاعتبارية المتعلقة بتركيب القوى فترسم كثيرا اضلاع تكون اضلاعه مساوية وموازية للمستقيمات الدالة على جملة القوى الاولى وكثيرا اضلاع آخر تكون اضلاعه مساوية وموازية للمستقيمات الدالة على جملة القوى الثانية ويكون مستقيما $ا$ و $ب$ الفالقان لكن يرى الاضلاع المذكورين دالين على المحصلتين ويلزم لاجل التوازن ان تكون المحصلتان متجهتين الى جهتين متضادتين على اتجاه جبل $ا$ و $ب$ وأن يكونا متساويين

فإذا لم تكن القوتان متساويتين حصل التحرك في جهة كبراهما وتكون
السرعة على نسبة منعكسة لجسم الجبل المقل للتحرك وهكذا (كما تقدم
في الدرس الثاني)

(* تطبيق ما تقدم على ضرب النواقيس) *

النواقيس التي تضرب في الكائنات مندودة بجبل أ ب الرأسى
(شكل ٣) فإذا كان الناقوس ضففا بحيث لا يمكن لشخصين أو ثلاثة
ضربهم مع السهولة بشدهم جميعا لجبل المذكور فإنه يربط في الطرف الأسفل

من جبل أ ب الأصلي جبال صغيرة كجبال أ م و أ ن و أ هـ الخ
ويقبض كل منهم على هذه الجبال ويشدونها كي يحدث للناقوس التحرك
الموافق له ولأجل تحصيل المحصلة يكفي عمل كثير الاضلاع وهو

أ م س س الخ الذي تدل اضلاعه وهي أ م و م س و س س الخ
مقدارا واتجاهها على قوى أ م و أ ن و أ هـ الخ

وبعد مستقيم أ س بين نقطة أ ونهاية الضلع الأخير يغلق كثير الاضلاع
لقوى الذي يكون فيه هذا المستقيم دال على المحصلة وبالجمله فيلزم في الصورة
التي نحن بصدد هان تكون هذه المحصلة في اتجاه جبل أ ب الرأسى

ويقف عادة ضاربو الناقوس المتقاربون في القوة على شكل دائرة ويكونون
على بعد واحد من بعضهم بحيث يكون مركز هذه الدائرة في الوضع الرأسى
لجبل أ ب وبهذا الوجه تتر محصلة قواهم ضرورة بمستقيم أ ب

(* بيان الكباش (أى الشامردان) وهو آلة المعدة لدق الخوابير) *

ما ذكرناه في صورة ضرب النواقيس يجري أيضا فيما إذا ارد أن يشد بجبال
صغيرة الجبل الأصلي الذي يحرك الكباش المستعمل لدق الخوابير وقد غلب
على هذه الآلة اسم آلة الضرب لأنها تضرب كناقوس الكنيسة الضخم ولأجل
الوقوف على حقيقة هذه الآلة يلزم معرفة خواص البكرات

ولم تسلك الى هنا الاعلى الجبال المشدودة من اطرافها تقط ولنفرض زيادة على ذلك انها تكون مشدودة من نقطة متوسطة فنقول

ليكن $\overline{اس}$ و $\overline{بص}$ (شكل ٤) هما القوتان الواقعتان على $\overline{ا}$ و $\overline{ب}$ اللذين هما طرفا حبل $\overline{اثب}$ و $\overline{شز}$ هي القوة الواقعة على نقطة $\overline{ث}$ المتوسطة فتكون هذه القوى الثلاثة متوازنة عند قتل $\overline{بص}$ الى $\overline{ثص}$ و $\overline{اس}$ الى $\overline{ثس}$ فيكون $\overline{شز}$ الذي هو وتر متوازي الاضلاع الحادث على ضلعي $\overline{ثص}$

و $\overline{ثص}$ مساويا ومقابلا لقوة $\overline{شز}$ على وجه الصحة والضبط ولنفرض ان قوة $\overline{اس}$ (شكل ٥) المينة بمستقيم $\overline{ثس}$ وقوة $\overline{بص}$ المينة ايضا بمستقيم $\overline{ثص}$ يكونان متساويتين

فاذن يكون متوازي الاضلاع وهو $\overline{ثسزص}$ شكلا معيننا وتكون زاويتا $\overline{سشز}$ و $\overline{صشز}$ متساويتين بمعنى أن مستقيمي

$\overline{ثاس}$ و $\overline{ثبص}$ يحدث عنهما مع انجاء محصلة $\overline{شز}$ زاوية واحدة

ولكن تكون قوة $\overline{شز}$ قريبة او بعيدة عن $\overline{ثبص}$ اكثر من $\overline{ثاس}$ على حسب كبر $\overline{ثص}$ او صغره عن $\overline{ثس}$ وذلك متعلق بصورة مثلث $\overline{ثسز}$ و $\overline{ثصز}$ المتساويين

فاذا كان هناك اربع قوى كقوى $\overline{اس}$ و $\overline{بص}$ و $\overline{اس}$ و $\overline{بص}$ (شكل ٦) واقعة على قطبي $\overline{ث}$ و $\overline{ث}$ يلزم أن يكون التوازن حاصل حول كل من النقطتين المذكورتين وهما جريا

فاذا كان حول نقطة $\overline{ث}$ متلاقوتا $\overline{اس}$ و $\overline{بص}$ التان يلزم

أن تكون محصلتهما متجهة على امتداد ثث ودالة على الشد الكلي
 الحادث من هاتين المركبتين على حبل ثث الصغير فبحسب متوازي
 الاضلاع وهو ثص زمر الذي فيه ثص = أس و ثص
 = بص يحدث أن شز يساوي شد حبل بث
 وكذلك نقطة ث فانه اذا رسم متوازي اضلاع ثص زمر
 الذي فيه ضلع ثص = أس و ثص = بص
 يحدث أن شز يساوي شد الحبل ولاجل توازن ثث يلزم
 أن يكون شدا شز و شز المتضادان متساويين

ولننبه هنا على ان تعيين شدود اث و ثث و ثأ الخ المتنوعة
 لاعلاقة له بطول اجزاء اب و بث و ثد الخ وانه عند
 زيادة هذا الطول او قصه تتغير حالة الشدود ما عدا توازنها فاذن يمكن
 أن يفرض انعدام واحد منها او أكثر بدون أن ينعدم ذلك التوازن وبناء
 على ذلك اذا كان هنالك عدة قوى واقعة على نقط متنوعة من حبل واحد
 فبايقا عما كاهها على نقطة واحدة منه بدون تغيير مقدارها واتجاهها
 مع نقلها بالتوازي لنفسها وتخليصها من الحبل المذکور تكون متوازنة
 فاذا كان هنالك حبل مشدود بقوى واقعة على نقط مختلفة حدث عنه شكل
 كثير الاضلاع ولهذا يسمى كثير الاضلاع الحبالى ويلزم أن تكون القوى
 المؤثرة حول كل نقطة متوازنة مع الشدود الحادثة من اضلاع كثير الاضلاع
 الذى تكون هذه النقطة رأسه

وتم اتملة عديدة تتعلق بتوازن كثير الاضلاع الحبالى وذلك اذا علقنا اتصالا
 فى حبل لا يكون طرفاه على رأسى واحد وسيظهر لك من القضاطر المعقدة التى
 سنكلم عليها فى آخر هذا الدرس مثال آخر فى شأن الاشكال الكثيرة الاضلاع

الحبالية وفي شأن فائدة تقويماتها

ولكن $\overline{اصه}$ و $\overline{بـز}$ و $\overline{شـن}$ و $\overline{دقـن}$ (شكل ٧) قوى
 رأسية فتكون محصلتها هي $\overline{رـر}$ رأسية أيضا مساوية لمجموعها
 ولا مانع أن تكون هذه المحصلة معينة بدون واسطة بالدعوى النظرية المتعلقة
 بالقوى المتوازية ولاجل حصول التوازن في كثير الاضلاع الحبالية يلزم
 أن قوة $\overline{رـر}$ الدالة على مجموع قوى $\overline{اصه}$ و $\overline{بـز}$ و $\overline{شـن}$ و $\overline{دقـن}$
 توازن شد طرفي الحبل اللذين هما $\overline{آ}$ و $\overline{د}$ وذلك يقتضي أولا أن
 اتجاهي قوتي $\overline{اصه}$ و $\overline{دع}$ المتطرفين يتقاطعان في نقطة و على $\overline{رـر}$

التي هي محصلة القوى المتوازية وثانيا انه اذا اخذنا $\overline{وسه} = \overline{اصه}$
 و $\overline{وع} = \overline{دع}$ على مستقيمي $\overline{واسه}$ و $\overline{ودع}$ فان وتر متوازي
 الاضلاع الحادث على هذين الضلعين يكون مساويا $\overline{رـر}$ مساواة صحيحة
 ويكون رأسيا كسائر القوى المركبة

واما الشدود الحاصلة من اجزاء حبل $\overline{آبشـد}$ المتنوعة فانه يسهل
 دائما تعيينها باعتبار أن كل قوة موازية مثل $\overline{اصه}$ و $\overline{بـز}$ الخ كوتر
 متوازي الاضلاع الذي ضلعاؤه $\overline{اصه}$ و $\overline{آب}$ او $\overline{آب}$
 و $\overline{بـث}$ او $\overline{بـث}$ و $\overline{شـد}$ الخ فتكون اضلاع هذا الشكل
 دالة على شدود الحبال الصغيرة وبهذا الوجه يعين شد طرفي كل حبل صغير
 كحبال $\overline{آب}$ و $\overline{بـث}$ و $\overline{شـد}$ فاذا كان التوازن باقيا على حاله
 لزم ان يكون هذا الشد باقيا على حاله ايضا في طرفي كل حبل صغير لان الحبل
 بدون ذلك يتقدم الى جهة الشد الاكبر كما لو اثر فيه مباشرة قوتان
 غير متساويتين

ولتكلم هنا على تناقل الحبال مبتدين بالحبل المثبت من طرفيه والحمل وقسه
 معلقا فنقول

يمكن أن نعتبر ان هذا الحبل مركب من عدد غير محدود من المستقيبات الصغيرة

المساوية الثالثة قليلا على بعضها بحيث يحدث عنها النقص الذي يتبعه الجبل
المذكور ليكون بذلك متوازنا واما كما قلنا اعتبرنا جبلين اى ضلعين من هذه
الاضلاع الصغيرة المتوالية كضلعى أ ب و ب ث (شكل ٨) كانت
محصلة ثقل كل منهما قوة مازة بمقتضيهما وهما م و ن فيحدث
حيثخذ عدة قوى ك قوى م و ن و م و ن متوازنة
ومساوية وموضوعة على وجه بحيث تكون نقط وقوعها وهى م و ن
و و على بعد واحد من بعضها

وتكون محصلة تلك القوى مساوية لمجموعها ومتجهة اتجاهاها رأسيا
ولتكن ر ر وزر الى هذه المحصلة فيلزم بحسب ما تقدم ان ف
و غ اللذين هما الضلعان الاخيران من كثير الاضلاع الجبالى يتقاطعان
بواسطة امتدادهما على محصلة ر ر المذكورة

وبناء على ذلك يتقاطع تمامان ف و غ فى قطبى ف
و غ دائما على اتجاها محصلة ثقل الجبل الخلى وقسمة معلقا وهى محصلة
مازة بمركز ثقل الجبل المذكور

(وتستعمل هذه الخاصية عند علماء الرياضة فى تحصيل معادلة تفاضلية
تتعلق بالنقص الحادث من الجبل الخلى وقسمة لتساقله الا انه ليس فى القواعد
المستعملة ما يكتفى فى تحصيل الكميات المجهولة الموجودة فى المعادلة التى يتعين
بها صوره فذلك النقص بكميية صحيحة واما ارباب الفنون فيحكمهم أن يحسبوا
هذا النقص ويعينوا جميع اجزائه بواسطة الاقيسة المتكررة ويصلوا بالعمل
على وجه سهل الى تحصيل الحواصل التى لا يمكن أن يتوصل اليها
بعلم التحليلات)

وقد يكون النقص الحادث من الجبل المثنى بواسطة تناقله باقيا على حالة

واحدة سواء كان هذا المنحنى جبلا لنا متواصلا او كلن سلسلة كبيرة كانت
او صغيرة هي كبة من كليات صغيرة فيحدث من هذه السلسلة شكل كثير
الاضلاع مؤلف من عدد غير محدود من الاضلاع الصغيرة جدًا وذلك هو
شرح هذه المسئلة وقد اطلق اسم السلسلة على المنحنى الذي تتبعه تلك السلسلة
او جبل على غاية من اللين مثبت من طرفيه ومجلى وقصه لتأثير التناقل
ويكثر استعمال هذه السلسلة في فنون الميكانيكا وغيرها من الفنون
المستظرفة

وتكون القن او السلاسل المشار اليها برمز \overline{AB} (شكل ١٤)
التي بها توازن السفن مع قوى الهواء والتيار على صورة سلاسل كثيرة
الانحناء او قليلته على حسب شدتها ومن هذا القبيل جبال السحب اى
البانات التي يشدها الرجال او الخيول بواسطة جبال صغيرة مربوطه
في نقط مختلفه من الجبال الاصلية ثم ان شد الجبال الكبيرة والصغيرة
والثقل وانعدام قوى الجر كل ذلك مسائل مهمة تحل بواسطة القواعد
المذكورة في هذا الدرس ولتزد استعمال تلك السلاسل نوع اوضح فيما يتعلق
بادوات السفن فنقول

يلزم أن تنسب الى السلسلة او الى كثير الاضلاع الجبال توازن الحواش
وهي الجبال الممدودة من احد شاطئ الانهر الى الشاطئ الاخر وهي
مربوطة في نقط مرتفعة ارتفاعا كافيا بحيث تمر من قمتها السفينة
ذات الصاري ويمكن أن يجرى على الحواش (بواسطة البكر) الطرف
الاعلى من الجبل الذي يكون طرفه الاسفل ممسكا للمركب وهذا الجبل
اياما كان وضعه يقع عليه شد ناشئ عن التأثير الحادث في السفينة من التيار
وقد يكون هذا الشد متوازنا مع شدين آخرين حادين من جزئى الحواش
الموضوعين على يمين الجبل المسلك للمركب وعلى شماله ولاجل معرفة القوة

التي تكون لذلك الجبل او الحواش يلزم عمل حسابات الشدود الكبيرة الواقعة عليه وكيفية ذلك تعلم من خواص السلسلة وكثير الاضلاع الجبالى المتقدمين

واهم تطبيقات السلسلة والجبال على العموم هو ما ينسب للقناطر المعلقة (شكل ١٥) غير انه يلزم قبل تعريفها أن نذكر الخواص الهندسية المتعلقة بالسلسلة لانها كثيرة القوائد فنقول

اذا كان A و B الندان هما طرفا سلسلة AB (شكل ٩) موضوعين على ارتفاع واحد كانت السلسلة المذكورة التي هي على صورة النصى متماثلة بالنسبة الى رأسى C الممتد من نقطة D التي هي منتصف AB وحيث فلا داعى لكون جزء الشمال وهو AC يخالف في الصورة والمقدار جزء الجنوب وهو

ب ف ت

وقد يحدث من الاكليل وخيوط الذهب والحرير والقباطين والاهدا ب والازهار المعلقة في قط ليست على رأسى واحد سلاسل يتنوع قائمها بتنوع الانحناءات والاوزاع وظرافة هذا التنوع من اسرار الفن الذى الغرض الاصلى منه زخرفة المنازل والعمارات العامة

ولا بد للنقاشين والمصورين من معرفة الانحناء الذى يكون للسلسلة حتى يجعلوا الاشياء المزخرفة على شكل محيطات حقيقية

فاذا اعتبرنا أن نقطة E تكون ثابتة (شكل ٩) وحذفنا AE فان الجزء الباقي وهو EB لا يكون خارجا عن التوازن فانامدنا حيثند مستقيم EF الا فنى واخذنا نقطة F عوضا عن نقطة B وجعلناها نقطة ثابتة فان جزء EF يكون متماثلا

مع ف ت

فإذا لم يكن طرفا السلسلة (التي هي على صورة المنحنى) وهما $\overline{هـ}$ و $\overline{ب}$ موضوعين في ارتفاع واحد فاما إذا مددنا من طرف $\overline{هـ}$ الذي هو دون الطرف الآخر في ارتفاع خط $\overline{هـ ف}$ الاقي كان جزء السلسلة وهو $\overline{هـ ث ف}$ الموضوع تحت الاقي المذكور متماثلا بالنسبة لعمود $\overline{ش ر غ}$ النازل من نقطة $\overline{ر غ}$ التي هي منتصف $\overline{هـ ف}$ وكانت نقطة $\overline{ث}$ مخفضة عن جميع نقط السلسلة المذكورة

وحيث ان منحنى $\overline{هـ ث ف}$ متماثل بالنسبة لرأسي $\overline{ش ر غ}$ فان مركز ثقل هذا المنحنى يكون على الرأس المذكور ولتد مستقيبي $\overline{هـ و}$ و $\overline{ف و}$ مماسين للمنحنى المذكور في نقطتي $\overline{هـ}$ و $\overline{ف}$ ثم نأخذ جزء $\overline{و ر}$ الرأسى ونقبله دالا على ثقل ذلك المنحنى فتكون اضلاع متوازي الاضلاع

وهو $\overline{و ر ر ر}$ دالا على الشدود الحاصلة للبلبل في نقطتي $\overline{هـ}$ و $\overline{ف}$ وليكن المطلوب الآن الشد الحاصل في نقطة $\overline{ث}$ التي هي اخفض نقط المنحنى فإذا مددنا $\overline{ش و}$ و $\overline{و ب}$ (شكل ١٠) مماسين للمنحنى في نقطتي $\overline{ث}$ و $\overline{ب}$ فان مركز ثقل منحنى $\overline{ث ب}$ يكون على رأسي $\overline{و غ}$ المار بنقطة $\overline{و}$ واذار سمنا على $\overline{و غ}$ و $\overline{و ث}$ و $\overline{و ب}$

الممتدة متوازي الاضلاع وهو $\overline{و ح خ ض}$ فثقل $\overline{و ح}$ على ثقل قوس $\overline{ث ب}$ كان $\overline{و ض}$ دالا على الشد الحاصل في نقطة $\overline{ث}$

ونخط $\overline{و خ}$ دالا على الشد الحاصل من المنحنى في نقطة $\overline{ب}$ لكن زرى في متوازي الاضلاع المذكور أن $\overline{ح خ} = \overline{و ض}$ وحيث ان

$\overline{و ح ض}$ مثلث قائم الزاوية فان $\overline{و خ}$ يكون دائما اطول من $\overline{و ض}$

يعنى أن الشدة الحاصل من المنحنى في نقطة ب يكون دائما أقوى من الشدة الحاصل للمنحنى في نقطة ث

وكما صعد الانسان الى اعلى حدث من مماس ب و خ مع انعطاف الرأسى زاوية حادة جدا وبقي طول و ض على حاله وازداد طول و ح كتقل المنحنى واخذ ضلع و خ في الازدياد فعلى ذلك يكون شدة المنحنى عظيما جدا في قطعه الكثيرة الارتفاع

فاذا فرضنا حيث أن المنحنى له قوة واحدة في جميع طوله فان أول ما يحصل الاقطاع يكون في النقط الاكثر ارتفاعا من غيرها فلو فرضنا أن المنحنى يقاوم في هذه النقطة لكافة مقاومته في النقط المتوسطة بالطريق الاولى

فاذا امتد في مثلث ح و ض (شكل ١٠) القائم الزاوية ضلع و ح الذى هو ضلع زاوية و القائمة وبقي الضلع الآخر هو و ض على حاله فان الضلع الاكبر هو ح ض يقرب شيئا فشيئا من مساواة ح و

ولنفرض الا أن الشكل الذى يدل عليه منحنى ث ب (شكل ١١) و (شكل ١٢) يزيد مقداراه او ينقص دفعة واحدة مع التناسب في جميع اجزائه فنقول ان التوازن يكون ثابتا لا يتغير اصلا وان صورة المنحنى بهذا السبب لا يتغير ايضا

وذلك لانه في المنحنى الجديد اذا كانت نقطة م مثلا في وضع يشبه وضع نقطة م في المنحنى الاول حدث من مماس م و مع رأسى د ث الزاوية التى تحدث من مماس م و مع رأسى د ث وحيث ان طول المنحنيين مناسب لبعدي ب د و س د فان نسبة ثقل منحنى و ح الى ثقل منحنى و خ تكون مساوية لنسبة شدة و خ الى شدة و ح الحاصلين للمنحنيين في تقاطع م و م و

فعلى ذلك يكون الشدان متزايدين من جميع الجهات في نسبة واحدة مع نقل
الحبل ويكون وضعهما في هذه الحالة متشابه الوضعهما في الحالة الاولى فيكونان
متوازيين عند تأثيرهما في منحن صورته واحدة

ولذلك قاعدة اصلية وهي ان الشدين الحاصلين للمخنيين المتشابهين في نقطتين
متشابهتي الوضع تكون نسبتها كقسيه البعدين المتشابهين او المتقابلين
في هذين المخنيين

فبناء على ذلك اذا قابلنا بين مخنيين متشابهي الشكل وكان احدهما اصغر من
الاخر مرتين واقل منه مرتين او اصغر منه ثلاث مرات واقل منه ثلاث
مرات او اصغر منه اربع مرات واقل منه اربع مرات فان الشد الحاصل
لهذين المخنيين في نقطتين متشابهتي الوضع يكون واحدا

ولتقابل الا ان بين الشدين الحاصلين لمخنيين غير متشابهين فلا ترض
الامتنيات قليلة الانحاء جدا لاجل الاختصار في البحث والاختصار
في الاشغال على هذه الصورة العامة التفع في الفنون ونعتبر ان هذه الامتنيات
لها ثقل واحد في طول واحد ونفرض ان النقط الثابتة تكون دائما على بعد واحد
من بعضها

ومنى كان المنحنى ا ش ب مثلا (شكل ١٣) انحاء قليل جدا يمكن
بدون خطأ كبير ان نعتبر ان مركز ثقل كل جزء ش ب من هذا المنحنى
يكون موجودا على رأسي ه ف الموضوع على بعد واحد من طرفي ث

و ب فاذا اتينا من نقطة غ التي هي المركز المذكور رأسي ه غ ف
الى مستقيم ا ب حدث معنا ان د ف = ف ب واذا اتينا
من نقطة ب عمود ب ع على ش ه الممتد حدث معنا ان
ش ه = ه ع

ولنجعل الان نقطتين في المنحنى كنقطتي ث و ب نأخذين ونمدهما على
ش ه و ه ب المتطرفين فيكونان ضلعين لمتوازي الاضلاع وهو

ش ه ب ف الذي وزه ه ف ويكون هذا الوتر دالا على نقل قوس
ش ب وضلعاه وهما ه ب و ه ث دالين على الشدين الحاصلين
للجبل في قطعي ب و ش

فاذا كان سهم ش د صغيرا جذا بالنسبة لطول ا ب فلا فرق بين
ش ب و ه ب وبين ف ب و ش ه فاذن يكون شد الجبل
او السلسلة الحادث عنها المنحني واحدا تقريبا في سائر امتداده غير انه لاجل ابقاء
الشد على حالة واحدة في جميع قطعه يلزم أن يكون سهم ش د معدوما
فاذا اعتبرنا الا ن أن نقل المنحني ثابت ومدلول عليه بخط و ر فان الشد

الحاصل للجبل في قطعة ب يكون مدلولاً عليه بخط و خ فتمت لاجل
ذلك خ ر اقتبالاً إلى و خ الممتد الذي هو امتداد عماس ب ه

ولكن يوجد معنا مثلثا ب ه و و خ ر المتشابهان اللذان يوجد

فيهما ب ه : ب ه :: و خ : و ر فاذن يكون
و خ = و ر × $\frac{ب ه}{ب ه}$

وحين ان ب ه يساوي ش د و ب ه يختلف قليلا
عن $\frac{1}{4}$ ب د فانه اذا كان ب ه = ش د صغيرا جذا
حدث على وجه تقريبي

$$و خ = و ر \times \frac{ب د}{ش د}$$

فاذا لم يتغير جيتد بعد طرفي ا و ب ونقل الجبل الذي يدل عليه و ر
نات ش د و خ يصير على نسبة منعكسة من سهم ش د فاذن يلزم أن يكون
ش د و خ الحاصل في قطعة ب ا وفي قطعة ا عظيم جذا ليكون ش د

صغيرا جدا او معدوما بالكلية وبناء على ذلك اذا كان هناك جبل مشدود شدا
اقتيا من طرفيه فانه يلزم أن يكون مشدودا بقوتين عظيمتين جدا حتى يكون
ممدودا بالضبط مدامستقيما

وقد حق لنا أن نبرهن تفصيلا على هذا الحالة نظرا لمن يقول بصعوبتها فنقول
اذا كان هناك جبل خفيف جدا وليس هناك ما يعارضه واريد شدا قويا
من نقطتين موضوعتين على ارتفاع فانه يتعذر شده من النقطة التي
يكون فيها مستقيما بالكلية

* (بيان تطبيق ما تقدم على ادوات السفن) *

ثم ان استعمال الخواص التي ذكرناها في شأن المنحنى لا يتخلو عن فائدة عظيمة
وبه تظهر الجهود ذات التي تجعلها الحبال في كثير من الصور المهمة والمراد
بادوات السفن مجموع الحبال المستعملة في اسناد صواري السفينة وقراباتها
وفي تحريكها

فصواري شد و هف و غس الزاسية (شكل ١٥)
ممسكة من جزئها الاسفل بعدة من الشواحي ويجزئها الاعلى عقدة جارية
مصنوعة من جبل عظيم يسمى عندهم بالميدة او الجاغوص وهو الذي يثبت
عليه الصاري وهذه العقدة تنزل من المؤخر الى المقدم وتثبت في نقطة من
السفينة ومق ارتفع المؤخر وانخفض المقدم عند الاضطراب والتحول فان الميدة
تكون مقاومة وتمتع الصاري عن الكسر عند سقوطه الى جهة الخلف
وتستعمل الميدة زيادة على ذلك لتعادل ما ينشأ عن الحلية او الاطراف من
الجهودات العظيمة والحلية او الاطراف هي حبال مثنيتة من منتصفها
ومروطة فيه بحيث يحدث عنها فتحة عريضة تمر بها رأس الصاري فينكون
من طرفي كل جبل حليتان او طرفان يكونان ثابتيين على جانب واحد فلنأخذ
يضعون بالتعاقب للصاري الواحد حليتين في جانب السفينة الايمن وآخرين
في الجانب الآخر

وتكون الاطراف شاذة مع الرأس الصاوى عند الهبوط من منتصف السفينة الى جانبيها ومن الامام الى الخلف

فاذا كانت الميدات والاطراف مائلة بحيث لا يحدث عنها خطوط مستقيمة مهما كان الشذ الحاصل لها فانه يحدث عنها انحناءات والانحناءات الحادثة عن الاطراف لها انحناء ظاهر قليلا لان هذه الجبال تقرب من الاتجاه الراسى قريبا كافيا بخلاف المنحنىات الحادثة عن الميدات والجوانحيص البعيدة كثيرا عن الاتجاه الراسى المذكور فان انحناءها يكون ظاهرا بالكلية ثم ان المنحنى الحادث عن الميدة او الحلية يتغير انحناءه في كل دفعة جديدة نعرض له من الريح والامواج

فاذا دفع الهواء السفينة من الخلف الى الامام قصص انحناء المنحنى الحادث عن الاطراف لاجل ازدياد انحناء المنحنى الحادث عن الميدات واذا هبت الريح من جهة قصص انحناء المنحنىات الحادثة عن الاطراف الموجودة في هذه الجهة لاجل ازدياد انحناء المنحنىات الحادثة عن الاطراف الموجودة في الجهة التى تقابلها

وقد يكون اعتبار الاطوال التى قبلها المنحنىات الحادثة عن الاطراف والميدات اما يقتضى المادّة التى تتركب منها هذه الجبال او يقتضى جنس المنحنىات الحادثة عنها مهما جذا في ادوات السفن وفن الملاحة ويمكن أن نستعمل عوضا عن الجبال المتخذة السمك في جميع طولها الجبال التى يتقص سمكها من الجهة السفلى بحيث لا يكون لها في تقطعها المنخفضة الا القوة اللازمة لمقاومة الشذ الاصطناعى الذى يحدث في هذا الجزء لكل طرف من الاطراف

ويعسر في هذه الصورة الاخيرة صناعة الجبال الا انه يترتب عليها وفر عظيم و جهات يرادوات السفن خفيفة جدا وهناك ايضا كثير من التحسينات ليس هذا محلها لان ما ذكرناه يكتفى في بيان الكيفية التى بها يتيسر في كل وقت حساب شذ الجبال واتجاهها الانفع

(بيان القناطر المعلقة)

ولنوضح الآن كيفية عمل هذه القناطر ونوازنها نقول
 لنفرض أن جبلا أو سلسلة يمتد بين نقطتي أ و ب وأن جبلا أو سلاسل
 أخرى رأسية يقال لها حفاظية مثل م و د و و و ح الخ
 تربط في هذا الجبل من نقط مختلفة منه على بعد واحد من بعضها ويوضع
 جبلان متساويان مثل جبل أم و د ب بجانب بعضهما
 ويكونان على ارتفاع واحد ويوصل بعوارض اقضية اطراف تلك الجبال
 الحفاظية الموضوعة بجناء بعضهما ثم يوضع على هذه العوارض المتوازية سقف
 فيكون ذلك هو القنطرة المعلقة

ولاجل تعيين شروط توازن القنطرة المذكورة يلزم أن نعتبر أن كل جبل
 مثل أم و د ب يحمل جزءاً من القنطرة ثقله واحد في خلال
 الجبال الحفاظية بخلاف ثقل تلك الجبال فإنه يزاد كلما قربنا من طرفي
 الجبل

وحيث أن ثقل الجبال الحفاظية قليل بالنسبة لثقل القنطرة الكلي فلا نزاع
 أن الجبل الثقيل يحمل اتعالا متساوية في مسافات اقضية متساوية وحيث أن
 يكون المفعلي الحادث من الجبل المذكور قطعاً مكافئاً وقدرهن على ذلك
 في كتب أخرى

وعلى ذلك فيمكن أن نحصل في أسرع وقت وضع مركز ثقل جبل أم و ب
 ونقطه ط التي يتقاطع فيها عماسا ذلك الجبل لانه في القطع المكافئ الذي

$$\text{سهمه} = \text{سهم} = \text{م} = \text{ط}$$

فإذا رسمنا متوازي اضلاع مثل ط أم - على ا ط و ب ط الذين هما
 عماسا سلسلة التعليق المعتبرة كقطع مكافئ حدث عن ذلك أن نسبة
 ثقل السلسلة الى الشد الحاصل لها في نقطة ط تكون كنسبة م ط

الى $\overline{ا ط}$ فاذا مددنا $\overline{ا ب}$ موازيا الى $\overline{ا ب}$ حدث هذا التناسب وهو
 $\overline{م ط} : \overline{ا ط} :: \overline{ط} : \overline{ا ط} :: \overline{ء م} : \overline{ا ط} :: \overline{م} : \overline{ا ط} :: \overline{م} : \overline{ا ط}$
وبالجملة فمى كان سهم $\overline{م}$ صغيرا بالنسبة لطول $\overline{ا ب}$ امكن
أن نعتبر أن $\overline{ط}$ و $\overline{ا ب}$ متساويان فاذن تكون في هذه الحالة نسبة
مثل السلسلة الى الشذ الحاصل لها في نقطة $\overline{ا}$ كنسبة سهم السلسلة
ثلاثى مرات الى بعد $\overline{ا ب}$ الحاصل بين $\overline{ا}$ و $\overline{ب}$ التين هما تقطعتا
الارتكاز
ويبقى لنا أن ننبه على أن هذا المقدار ليس الا تقريبا ومضى تعذر اختلاط
طولى $\overline{ا ط}$ و $\overline{ا ب}$ يعضهما بدون خطاين لزم اخذ نسبة $\overline{ا ط}$
: $\overline{ء م}$ عوضا عن $\overline{ا ب}$: $\overline{م}$
ويسهل علينا حساب قوة الجبال الحفاظية الرأسية بتقسيم مثل سطح القنطرة
على عدد تلك الجبال ويلزم أن يكون سمك الجبال المذكورة مناسبا لعدد
الكيلوغرامات الذى يوجدى خارج هذه الصفة
ثم ان القناطر المعلقة الكبيرة المشيدة لعبور الانهر العظيمة يصنعها مهندسوا
القناطر والجسور او كبار المتعهدين واما القناطر الصغيرة الوفيرة (اى القليلة
المصاريف) المعتة لعبور الامطار والسيول والجارى الصغيرة ومضى الناس
وسير النقالات الصغيرة ونحو ذلك والمستعملة ايضا واصله بين عمارتى معمل كبير
واحد فانها تصنع بدون صعوبة ولا بد منها فى سائر فروع الصناعة
ويستعمل فى هذه القناطر غالبا سلوك من حديد بدلا عن السلاسل وتكون
هذه السلوك مجموعة على صورة حزمة يحيط بها سلك على هيئة برتمة حزونية
كلاوتار المعدنية التى فى آلات اللويسقى (واصل قوة فرض السلك هو أن يحمل
٤٠ كيلوغراما فى كل ملجتر مربع من القطاع بدون أن يتقطع فلا يحمل
فى كل ملجتر الا ٢٠ كيلوغراما) وقد تكون قضبان الحديد مستعملة
كالجبال الحفاظية فتكون العوارض الصغيرة التى عليها الواح بسيطة طولية

كافية في تمام القنطرة وفي هذه الممارات وفر عظيم على ما فيها من الصلابة
عند تناسب شكلها وابعادها بموجب ما ذكرناه في هذا الدرس من القواعد
المتعلقة بتوازن الجبال

ثم ان المهندس صغير دوناي وهو اول من شيد القناطر المعلقة في مملكة
فرانسا بساوك من حديد قد ابدى في هذا المعنى مثالا كثير الجدوى
وهو انه صنع في معمله قنطرة لعبور المشاة من الناس طولها ثمانية عشر مترا
تقريبا وعرضها ستة دسجترات ولم يبلغ مصاريفها الا خمسين فرنكا والف كتابا
في المبادئ كثيرا القائد فلن اطلع عليه عن رغب في عمل القناطر المعلقة الصغيرة
ومن اراد التثبت بالمهم من اشغال هذا النوع فعليه بمطالعة رسالات
الميرالاي دوفور التي تحليلاتها مما اشتملت عليه رحلاتنا الى جزائر
ابريطانيا الكبرى وبالاطلاع على كتاب للمهندس ناويس احد اعضاء
جمعية العلماء وهو كتاب جليل يشتمل على دقائق تلك الاشغال وبالوقوف
على الجزء الثالث من رحلاتنا المذكورة الذي تكلمنا فيه على القوة التجارية
وبيناه فيه تخطيط القناطر الكبيرة المعلقة المصنوعة في انكلترة والقبائل
الفرنساوية وذكرنا فيه مستوياتها

وحيث انتهى الكلام على الجبال الواقع عليها تأثير قوى جديما اتفق وكذلك
تأثير التناقل تكلم الآن على الجبال التي تطبق على سطح الاجسام الصلبة
فتقول اذا كان الجبل مطبقا على سطح ومشدودا من طرفيه فانه بالضرورة
يتغير وضعه بقدر ما تحركه كل قوة الى جهة اتجاهاه الحقيقي وبقدر ما يأخذه
ذلك الجبل من الوضع الذي يشغل فيه طولا عظيما على السطح ولا يمكن حصول
التوازن في ذلك الا في الوضع الحقيقي الذي يشغل فيه الجبل المذكور وعلى السطح
وضع اقصر خط يمكن مده بين نقطتين جديما اتفق من قطعتان الجبل بالسطح
فيكون حينئذ للخطوط القصيرة التي يمكن رسمها على السطوح ارتباط
ضروري بوضع توازن الجبال المطبقة على السطوح والمشدود من اطرافها
(والخاصية الهندسية لهذه الخصيات وهي الجبال المذكورة هي انه اذا رسمنا

من كل نقطة من قطعا مستويا ملاصقا لها يلزم أن يكون هذا المستوى عموديا على السطح الذي يكون المنحنى المذكور مرصوما عليه وبناء على ذلك اذا دقت عذما و نادى في قط مختلف من المنحنى عموديا على سطح ر مع ملاحظة اتجاه المنحنى بحيث يحدث من الاشعة البصرية مستوي يميز بكل من تماس المنحنى والوتر العمودى على النقطة المعتبرة مكان المستوى الحادث من الاشعة البصرية المذكورة ملاصقا للمنحنى الذى يظهر انه لا انحناء له اصلا في تلك النقطة وهذه الخاصية يمكن استعمالها على وجه تقريبي في اقصر منحن يمكن رسمه على السطح بالابتداء من نقطة معلومة في اتجاه معلوم

واذا كان الحبل منتبها على سطح وكان مؤثرا على كل من طرفيه قوة لزم أن تكون هاتان القوتان متساويتين حتى يحصل التوازن فان لم يكونا كذلك فان الحبل يتحرك في جهة كبرهما كأنه لم يكن هنالك القوة واحدة مؤثرة في تلك الجهة وهذه القوة ليست الا فاضل القوتين الاصليتين

ويكفى القنون استعمال الحبال المشدودة على السطوح فاذا اراد صنع السفن أن يجعلوا السطح اضلاع السفينة و سطح حوافها انحناء تاما متواصلا فانهم يشتدون على الجهة الطويلة حبالا ويجعلون لها اتجاها منتظما جدا في جهة طول الحواف المذكورة ثم يرفعون بالتوالي الاجزاء البارزة كثيرا من قطع الخشب الموجودة بين المسامير المختلفة التي يثبت بها الحبل على السطح فيكون لهذا الحبل المشدود من طرفيه اتجاه وانحناء اقصر خط يمكن رسمه على سطح السفينة بين المسامير المتواليه

وهناك سطوح يمكن احاطتها احاطة تامة بحبل طرفاه منضمات الى بعضهما ومتصلان اتصالا تاما بواسطة عقدة او غيرها ولا يصل هذا الحبل الى الوضع الذي يكون فيه متوازنا الا اذا كان تابعا بالضبط لاتجاه اقصر خط يمكن مده من النقطة التي يوجد فيها العقدة وذلك يكون عند الدوران حول الجسم لاجل الوصول الى العقدة المذكورة

ويوجد في ملابس الرجال والنساء ما يشبه تلك الحبال المطبقة على السطوح

وذلك كالقوايش والاحزمة فانها اقصر خطوط يمكن رسمها على سطح الجسم مباشرة او مستورا باللباس فاذا كان وضع الحزام من تنعافاته يكاد أن يخفص واذا كان وضعه مخفضا فانه يكاد أن يرتفع

وهناك عدة اشياء من زينة النساء والرجال مخففة من خيوط كبيرة او صغيرة ممتدة على سطح الرأس كالسلاسل والقباطين المجدولة مع الشعر في العصابات اليونانية والرومانية وكتيجان آسيا والقباطين المرسله من الاكاف الى الاورال وسيور النعال ونحو ذلك

وينبغي أن تكون الاربطة والاساور والاطواق والاقراط شبيهة بالسلاسل الموضوعة على سطوح متنوعة او مخطوط التركيب التي تحيط بسطح السوق والاذرعة والاصابع والرقبة في الاتجاهات القصيرة من الاعضاء

وسأني لك عند الكلام على قمر البكرات أن الحبال تكون موضوعة في حلق دواليب البكرات المذكورة حسبما يقتضيه اقصر خط يمكن رسمه في هذا الحلق

ويؤخذ من جز العربات بالخيول تطبيقات مفيدة متنوعة جدا تتعلق باختلاف الخطوط القصيرة التي يمكن رسمها على سطح جسم هذه الحيوانات وليست المزانق والقشاطات والالجة وغيرها من عدد الخيول خارجة عن القاعدة المقررة في شأن توازن الحبال المطبقة على السطوح

وها هنا انتهى الكلام على الحبل من حيث تطبيقه على سطح واحد وشده من طرفيه فقط ولنقرض الآن أنه يكون مشدودا زيادة على ذلك من نقطة متوسطة فتوجد شروط التوازن في هذه النقطة اذا فرضنا ان القوتين اللتين تشدان الحبل من طرفيه تكونان متقولتين على اتجاه الحبل المذكور الى النقطة التي تكون القوة المتوسطة مؤثرة فيها يلزم أن تكون هذه القوى الثلاثة متجهة ومناسبة معا بحيث تكون متوازنة في النقطة المذكورة كالمو كان الحبل لا ينسب لسطح تامن السطوح

ثم ان القواعد المذكورة في شأن الاشكال الكثيرة الاضلاع الحبالية من حيث تساوي الشدود في كل نقطة متوسطة واقع عليها تأثير قوة خاصة هي عين

القواعد المطبقة على الاشكال الكثيرة الاضلاع الخيالية التي تكون فيها اجزاء الجبال منتبئية على سطحها ويلزم دائما أن تكون الشدود الحاصلة في جزء من الجبل اعنى على عين القوة المتوسطة وشمالها متوازنة مع هذه القوة وأن تكون الشدود الحاصلة في كل جزء من الجبل بين قوتين متوسطتين متساوية ومتضادة الاتجاه

وفي عدد خيول العربات التي اسلفنا ذكرها امثلة متنوعة تتعلق بالاشكال الكثيرة الاضلاع الخيالية

وذلك لانه ليس الغرض من شرط توازن القوى وتناسبها في تلك الاشكال مجرد الرغبة اذ من البديهي ان صلابه كل جزء من هذه العدد تكون مناسبة لما يندل من الجهود التي يلزم أن الجزء المذكور يتحملها وان الاجزاء المتنوعة من العدد المذكورة تكون مفصلة على وجه بحيث تكون متوازنة مع وجود تأثير التثاقل وقوى الجزوالا تغير وضع تلك العدد بالضرورة وصار الجزر دينا

وبتطبيق الهندسة والميكانيكا على تناسب عدد خيول العربات وتفصيلها لاسيما في الفنون الحربية يتوصل الى جعل ثقل هذه العدد في النهاية الصغرى وجعل صورتها موائمة لتطبيق قوة الخيول والانتكاز والنسابة هم اول من عرف ذلك وعاد على خيولهم وعرباتهم النقلة بالمنفعة العظيمة وقد بقي علينا امور كثيرة يحتاج اليها في هذا الموضوع لاسيما في عدد خيول العربات المعدة لنقل لوازم الزراعة والتجارة فهو غرض مهم يلزم بحث الصناعاتية وتحريضهم على الاعتناء به والالتفات اليه

فانما استعملنا عوضا عن الجبال المعبرة كالخطوط الهندسية حبالا مجمعا معلوم ولها صورة خاصة كالقوايش والسيور ونحو ذلك فانه يلزم أن تكون على السطوح التي تستند هي عليها والاتغيرت عن اصلها وحيث تدعبر السيور والقوايش كالسطوح المنفردة المعاسة لسطح الجسم الذي هي موضوعة عليه وهذا ايضا ما يطبق على ما اسلفناه في الدرس العاشر من الهندسة

ثم ان كيفية تعليق الاحمال بالحبال ليسهل حملها على الناس جدية بالاعتناء بها
والالتفات اليها بخصوصها فمن ذلك كيفية سلة مناسبة وهي ربط قاشين
في ظهر جربندية العساكر اودلوى سقاي الافرنج وجعلهما مارتين من
تحت الابط وفوق الكتف ولا يمكن توازنهما الا اذا كان لهما اتجاها اقصر خط
يمكن مده من تقطعي الارتباط ويكون مارتا من تحت الابط وفوق الكتف
ايضا وهذا هو السبب في كونهم يجبرون في الغالب على امساكهما بحبل
افقي مارتا بالصدر وواصل من احدهما الى الآخر وبذلك يسهل تعيين الشدة
الحاصل للحبل المذكور والزواوية الحادثة منه ومن القاشين في نقطة وقوعه
وهناك كيفية اخرى تتعلق بالقاش وهي كيفية السقاء حيث يضع القاش
على كتفيه وينزله بقدر طول ذراعيه الى ارتفاع يديه الذي ينتهي فيه القاش
من كل من طرفيه بهما لفة تمسك بأذن الدولو ولاجل منع الدولين عن القرب
من ساقى السقاء بواسطة قتلها يفرق بينهما بطارة فيسهل حيثئذ تحصيل
الشدة الحاصل للقاش ويلزم أن يكون متوازنا اولا مع ثقل كل دلو وثانيا
مع قوة الحصر الحادثة من الطارة التي تنعدم بها الجهد الحاصل من الدولين
لاجل اقترابهما من بعضهما

وفن ربط انواع الرزم بخيوط الدبارقمبني على خواص توازن الحبال الممدودة
على السطوح ومعرفة ذلك سلة كعرفة تطبيق الحبال وربما ستر التلامذة
من مباشرة اجراء ذلك بانفسهم ومن تحققهم في عمليات الصناعة من تصور
النظريات

ومن القنون المستغرفة التي تطبقها متنوعة وعملياتها بديعة فن رسم
مخفيات على سطح الجسم الانساني وعلى سطح الملابس تكون اقصر خطوط
يمكن رسمها على هذين السطحين ويتحقق هذا الوصف فيما يكون لهما ارتباط
باسباب التغير والسهولة والانتظام والظرافة

وقد سبق انه يكون العارون خاصة هندسية وهي انه يكون اقصر خط
يمكن رسمه على اسطوانة بين اى نقطتين من هذا الخط وبناء على ذلك يمكن
أن نقي حبالا طرولية على سطح اسطوانى ثم نشد هذه الحبال من اطرافها

مع تمام انجباهاتها بدون أن يتغير شيء من الانحناء الحاصل منها حول الاسطوانة

وقد جرت عملية عظيمة جدا من هذه الخاصية الهندسية في الآلات التي يلزم فيها انثناء الحبال على السطوح كما في عملية انثناء الحبل على الآلة المعروفة بالتجنيق الآتي ذكرها في الدرس العاشر ومن هذا القبيل اوتار الكمنجة والعود والقانون فهي حادثة من وتر مركزي ينتون حوله على صورة حلزون سلكام معدنيا فيكون شد هذا السلك واحدا في جميع قط طوله متى كان بهذه الصورة الحلزونية وبناء على ذلك يكون الاهتزاز الحاصل عند تحرك الآلة واحدا في جميع اجزاء الوتر وهذا ناشئ عن خواص الانحناء الحلزوني والشبكات متكونة من التليوط المرتبطة منى بتقط على نسق واحد وهناك شبكات الغرض من صنعها أن تنطبق على السطوح انطباقا صحيحا كالشبكة التي تغطي بها القباب الطيارة وتنتهي بحيط المركب التي تتخلها تلك القباب ويمقتضى القواعد المذكورة في هذا الدرس يسهل حساب الشد الحاصل لكل خيط من الشبكة

وفي زينة النساء غالباً شبكات معدة لتغطية بعض اجزاء من سطح شعورهن وملابسهن كالفسج الذي يكون في العصاة وهو المعروف بغطاء اللباس والشبكات واصطناع ذلك على صورة الشبكات يجعله ملائما لانثناء الاجسام البشرية وانحنائها الملائمة

(الدرس السابع)

في بيان ما بقى من الحبال وفي التحركات المستديرة للحبال والتضيق والعجلات والطيارات وفي مقادير الاينرسى وفي البندولات

لنفرض ان قوة S تكون واقعة عموديا على نقطة A التي هي احد طرفي حبل AB غير القابل للمد والمجرد عن التناقل فيكون طرفه الآخر وهو B مربوطا في نقطة ثابتة
واذا كانت قوة S المذكورة مؤثرة زمنا مادون معارض فانها تسير

نقطة \bar{A} المادية إلى الامام تسيرا مستقيما وتبعدها كثيرا عن نقطة \bar{B} الثابتة غير أن الحبل المستعمل لذلك يمنع النقطة المادية المذكورة أن تكون بعيدة عن نقطة \bar{B} أكثر من البعد الأول وهو $\bar{B}\bar{A}$ فاذن يجذب هذا الحبل النقطة المادية ليجعلها على بعد ثابت من النقطة المعينة وبواسطة هذه المقاومة تجذب قوة $\bar{A}\bar{S}$ الحبل الذي هو مشدود دائما بسبب تأثير هاتين القوتين فاذن ترسم نقطة \bar{A} التي هي طرف هذا الحبل دائرة نرى في ذلك ثلاث قوى متباينة أحدها قوة \bar{S} العمودية على نصف

قطر $\bar{A}\bar{B}$ والموجهة على $\bar{A}\bar{S}$ الذي هو عماس الدائرة المقطوعة بنقطة \bar{A} المادية وهذه القوة هي المعروفة بالقوة المماسية والثانية القوة الجاذبة للحبل جهة المركز وهي المعروفة بالقوة المركزية والثالثة القوة التي تجذبه لتبعد نقطة \bar{A} عن المركز وهي المعروفة بالقوة المبعدة عن المركز وهي مساوية للقوة المركزية ومضادة لها ولذا كن النسبة الحاصلة بين القوتين الأخيرتين والقوة الأولى فنقول

لترسم شكلا متوازي الاضلاع مثل $\bar{A}\bar{M}\bar{B}$ على ضلعي $\bar{A}\bar{M}$ و $\bar{A}\bar{B}$ المتساويين فيكون قطره وهو $\bar{A}\bar{M}$ دالا على ما يلزم يذله من الجهد لاستبدال اتجاه $\bar{A}\bar{B}$ باتجاه $\bar{A}\bar{M}$ وانتقال الجسم من \bar{A} إلى \bar{M} وهذا الجهد المبين بخط $\bar{A}\bar{M}$ هو القوة المركزية

فاذا امددنا نصف قطر $\bar{S}\bar{M}$ كان مثلثا $\bar{A}\bar{S}\bar{M}$ و $\bar{A}\bar{M}\bar{B}$ متشابهين لأنهما متماثلان وفيما زاوية مشتركة وهي \bar{A} فاذن يحدث هذا التناسب وهو

$$\bar{S}\bar{M} : \bar{A}\bar{M} :: \bar{A}\bar{M} : \bar{A}\bar{S} = \frac{\bar{A}\bar{M}}{\bar{S}\bar{M}}$$

يعني ان $\bar{A}\bar{M}$ الحال على كل من القوة المركزية والقوة المبعدة عن المركز يكون مساويا لمربع القوة المماسية مقسوما على نصف القطر

ويمثل هذه البرهنة يعلم اننا اذا اخذنا $ان = ن = ن$ الخ
 واوقفنا على $ش$ و $ش$ و $ش$ الخ قوتهم كزوجة جديدة
 مساوية دائما $ام$ قطع الجسم في ازمة متساوية مسافات $ان$
 و $ن$ و $ن$ الخ فاذن يكون الجسم المذكور سرعة عماسة
 ملازمة له ويحصل له في كل وقت من القوة المركزية دفعة جديدة ثابتة متى قطع
 دائرة معلومة وهذا هو المعروف بالترك المستدير المنتظم
 وفي هذا الترك تكون السرعة العماسة مساوية للقوس المقطوع مقسوما
 على الزمن المعد لقطعه

واذا قسم القوس بنصف القطر حدث من ذلك قياس الزاوية وحيث تكون
 الزاوية المقابلة للقوس المقطوع مساوية للسرعة العماسة مقسومة على
 نصف قطر هذا القوس ومضروبة في الزمن المعد لقطعه ويحدث من هذه الزاوية
 المقسومة على الزمن قياس ما هو معروف بالسرعة المتزوية للجسم الدائر
 حول المركز فاذن تكون أولا السرعة المتزوية مع السرعة العماسة
 على نسبة منعكسة من نصف القطر وثانيا تكون كلتا سرعتي العماسة
 والمتزوية مناسبتين لنصف القطر

ففي تغايرت انصاف الاقطار كان الزمن المعد لقطع الدائرة تمامها على نسبة
 منعكسة من السرعة المتزوية فيكون الزمن المعد لقطع الدائرة تمامها مناسبا
 لنصف القطر مقسوما على السرعة العماسة

وهذه النتائج موضوعة في كثير من مسائل الميكانيكا المهمة في الصناعة
 ولا تغفل انه اذا كان الجسم الدائر حول المركز مربوطا بخيط او حبل او قضيب
 كانت القوة المركزية هي الشد الواقع على الخيط او الحبل او القضيب من جهة
 المركز وكانت القوة البعده عن المركز هي الشد المقابل للمتقدم والواقع
 على الخيط لبعده عن المركز

ودراكب الفرس الذي يدور بهما في الميدان يكون في مركز الدائرة ويكون

فأبضا يد على طرف عنان القوس فتكون القوة المماسية هنا هي قوة القوس
الذي يعمل دائما الى الاقلاط من المماس غير أن الراكب المذكور يشد العنان
بقوة مركزية مساوية للقوة التي يشد بها القوس عنه بمعنى انها تكون مساوية
للقوة المبعدة عن المركز المنسوبة للقوس ومتى كانت سرعة القوس مضاعفة
مثنى كانت القوة المركزية مضاعفة رباع واذا كانت السرعة مضاعفة ثلاث
كانت القوة المذكورة مضاعفة تسع مرات وهكذا وما ذكرناه في هذا المعنى
مع ما يتعلق به من النسب يلازم تحريك القلاع الذي سنذكره قريبا

ثم إن القوس الذي يدور في دائرة بدون مانع يمنع من الدوران لا يمكنه الاستقامة
والاعتدال فيها لان القوة المبعدة عن المركز التي تقوى دائما اجزاء جسمه
تدفعه دفعا اقويا الى خارج تلك الدائرة بل تكاد توقعه فلاجل مقاومة
تاثيرها يعمل القوس باعلى جسمه الى جهة مركز الدائرة التي يقطعها ويلزم
أن يكون هذا الميل متزايدا بقدر مربع سرعته ويعظم ميله متى اسرع
في العدو والجرى * ولاجل أن يمكنه السير بدون صعوبة عند ميله الى جهة
مركز الدائرة يعمل به الراكب دفعة واحدة الى الطريق المستدير الذي يلزم
قطعه (شكل ٢)

واذا كان الفارس قائما على فرسه مع الاعتدال والاستقامة فانه يجبر على الميل
باعلى جسمه الى جهة مركز الميدان لتلاي سقط بتاثير القوة المبعدة عن المركز
وبدل شكل ٢ على ما بين قوة التناقل والقوة المبعدة عن المركز من التركيب
ليحصل التوازن بين القوس والراكب

واذا سارت العربدة ورجعت في سيرها قوس دائرة او سارت سيرا مستديرا
لحقها تاثير القوة المبعدة عن المركز التي تكاد تقلبها فاذا دارت في طريق
المحدر الى جهة مركز الدوران وهو و حدث في هذا الوضع عن القوة
المبعدة عن المركز وقوة التناقل ما يحدث عن القوس (شكل ٢) عند دورانه
في طريق اب و د حول محور و

ومنى كان طريق **م** احتيا خلائى يخص ميل القوة البعده عن المركز
سمى **تقلب العربيه**

فإذا كان طريق **ن** متصدا بعيدا عن مركز الدوران فان هذا الانحدار
ينضم تأثيره الغير الموافق الى تأثير القوة البعده عن المركز فينشأ عن ذلك خطر
عظيم فى الانقلاب

وفى طرق **ق** **ر** **ا** **س** ضرر عظيم وذلك انها محدبة من منتصفها بحيث
يظهر منها انحداران عظيمان جدا فى جهتين متقابلتين فإذا تقابل عربتان
فى بعض الانعطافات فان العربيه المتوجهة الى الانحدار الذى يكون نحو مركز
الدوران تكون متقوية بهذا الانحدار واما المتوجهة الى الانحدار الخارج
فانها لا تكون متقوية بهذا الانحدار بل ربما كانت عرضة للانقلاب
وعما ينبى نظمته فى سلك القواعد المطردة التى يجب العمل بها هو انه فى جميع
الانعطافات لا يلزم عمل انحدار خارج مطلقا وانما يلزم عمل انحدار الى جهة
مركز الدوران بقدر الامكان

فإذا كانت القوة البعده عن المركز على نسبة منعكسة من قطر القوس
المقطوع فانه ينتج من ذلك انها تكون صغيرة متى كان القطر كبيرا وتكون
متزايدة متى كان القطر متناقصا وإذا كان فى الانعطافات القصيرة جدا
ما ليس لقوسه الا قطر صغير جدا كانت القوة البعده عن المركز **كبيرة**
وبذلك يكون الانقلاب شديد الخطر

وقصارى الامر أن هذا الخطر يتزايد بقدر مربع سرعة العربات
وهذا هو الحاصل لمهارة العربجية والحيلة على كونهم لا يسوقون خيولهم
سوا حثيثا فى الانعطافات القصيرة بل يمشون على مهل متى ارادوا الدوران
ولتنبيه هنا على ان الميكانيكا يعرف بها مع الضبط والسهولة جميع تأثيرات
التحرل المستدير فى الصور المهمة المتعلقة بالامن والاطمئنان فى النقل
والاسفار ويعرف بها ايضا قواعد عمل العربات التى تصنع بموجب
قوانين التحرك

فاذا كانت المجلة (شكل ٣) سريعة الحركة في الرمل او الطين فانها ترفع معها شيئا من ذلك تكون سرعته المماسية عين سرعتها وحيث ان ما ترفعه لا يثبت على القضبان ولا على تصاليب المجلة بقوة تساوى القوة المبعدة عن المركز لزم أن يقع عليه تأثير هذه القوة وأن يكون مدفوعا بالسرعة التي اكتسبها ويوضع امام محلات العربات المزينة لوح معدني عرضي مستدير مثل **س ص** يعرف بالمائع لانه يمنع جميع قطع الطين الصغيرة المدفوعة بتأثير القوة المماسية

واذا لم تكن تصاليب المحلات متلاصقة بمسامير غائصة الى التصفاه في اطراف تلك التصاليب المماسية وبقضبان من الحديد سائرة لهذه التصاليب فان القوة المبعدة عن المركز تكاد دائما أن تبعد التصاليب المذكورة عن المركز وتخلعها من المسامير الرفيعة وتخدقها كالرمل والطين اذا عظمت سرعة المحلات ومتى كانت المسامير المثبتة للقضبان على التصاليب داخلية قليلا في الخشب فان القوة المبعدة عن المركز تخلعها وتخدقها في اتجاه المسامير الرفيعة الممتدة وبالمجلة فنجيم مجموع التصاليب والقضبان والمسامير المثبتة لها على التصاليب قواعد تعلم من نسب القوة المماسية والقوة المبعدة عن المركز وكذلك كثير من المحلات المستعملة في الآلات كالمساقني

واذا ضرب الصانع بالبلطة او المطرقة ضربا قويا فان حركته الآلة في حالة الضرب تكون على شكل قوس دائرة بخلاف ما اذا كان الضرب ضعيفا فانها تهجد عن محاس القوس الذي تقطعه فلذا كان الدووان مستديرا وكان ضرب الدبوس والبلطة والبالة ونحو ذلك بهذه الكيفية ومن هذا القبيل ايضا القلاق

وذلك ان القلاق كان قبل اختراع اسلحة النار من آلات الرمي المهمة ثم صار الآن لعبة في ايدي الصبيان وكيفية الرمي به أن يوثق بجمل خفيف كجمل اثب (شكل ٤) يكون في منتصفه كفة ككفة **ث** يوضع فيها حجر ثم يضم طرفاه وهما **أ** و **ب** الى بعضهما ويقبض الانسان عليهما

يد واحدة ثم يتحرك فترك دوران فانا استعمل في تحريكه قوة ثابتة فان
المقلع يدور بسرعة ثابتة ويكون حبله مشدودا دائما فيحدث عنه في اليد
جهد يدل على القوة المركزية اللازمة لامساك الحجر ث دائما على بعد
واحد من مركز \bar{A} ومتى ارنى احد طرفي الحبل فان هذه القوة المركزية
لاتضاد القوة المبعدة عن المركز وكذلك الحجر لا يتحرك نحو كاستنديرا
بل تدفعه القوة المماسية بدون مانع فيقطع في سيرة خطا مستقيما انا حذف
رأسيا

وقد قطعنا النظر في جميع ما ذكرناه عن تأثير التثاقل على جسم بجسم \bar{A}
لانه انما لم قطع النظر عن هذا التأثير كان حل المسئلة صعبا جدا
واذا اقتضى الحال ان الجسم يدور في دائرة بحجوة فانه يتحرك على محيط
هذه الدائرة بالقوة الثابتة التي نصير بهذا التحرك قوة عمادة وبها تتعين
سرعة سيره وهذه القوة المماسية الدافعة الجسم حتى يخرج عن المماس
تعرض لها دائما مقاومة على محيط الدائرة المحجوة وهذه المقاومة العمودية
على المحيط المتجهة بذلك الى جهة المركز هي القوة المركزية المساوية والمضادة
مباشرة للقوة المبعدة عن المركز

وقد يستعمل في فن الطوبجية براميل دائرة على محورها ومحتوية على
الرصاص المراد صقله فيلزم أن تكون صلابة هذه البراميل مناسبة أولا
لجسم الرصاص المظروف فيها وثانيا لما للرصاص من القوة المبعدة عن
المركز المناسبة لمربع القوة المماسية المستعملة لتدوير الرصاص في البرميل
ويبغى أن يضاف الى ذلك كثير من الطنابير الدقارة المحتوية على الرصاص
المصقول او الاكر الصغيرة المتخذة من الخصاص الموضوع في البارود المراد
تحييه وانما اقتصرنا على التحرك المستدير للجسم المجهور على أن يتحرك نحو ك
مضنيا لان الحبل او القضيب او المحيط الجسم يجبر الجسم على اتباع هذا الخط
بواسطة تأثير متجه دائما الى جهة مركز التحرك
وهناك امثلة عظيمة تتعلق بالاجسام المتحركة نحو ك مضنيا بدون

أن تكون ممسكة برابط من الروابط المتوسطة او المحيطات الخارجة عن ذلك القمر فانه يتحرك في الفراغ حول الارض بدون عائق وكذلك الارض حول الشمس (شكل ٥)

ويوجد في هذه التحركات من مبدء الامر قوة ط المماس التي تدفع دائما القمر والكواكب السيارة دفعا مستقيما ثم ان الارض بالنسبة للقمر نقطة بورية لقوة ث الث المركزية المؤثرة دائما في القوة المبعدة عن المركز للقمر وكذلك الشمس بالنسبة للارض فانها نقطة بورية للقوة المركزية المؤثرة دائما في القوة المبعدة عن المركز للارض

فاذا توازنت القوة المركزية والقوة المماسية وكسا على نسبة موازنة للتحرك المستدير فان القمر يرسم في سيرة دائرة حول الارض وكذلك الارض ترسم في سيرة دائرة حول الشمس غير ان هناك اوضاعا تكون فيها القوة المماسية ضعيفة فيكون القمر حيثئذ متباعدنا عن الارض والارض متباعدة عن الشمس وعند تباعدهما يكون اتجاههما المبعدين المركز مائلا بالنسبة للاتجاه المركزي وبناء على ذلك تكون القوة المركزية مضادة للقوة المبعدة عن المركز وتقصها بحيث يؤول امر القوة الاخيرة وهي المبعدة عن المركز الى كونها فوق قليلا للقوة الاولى وهي المركزية فيقرب الكوكب المتحرك حيثئذ من مركز تحركه وهذا هو سبب كون القمر يرسم حول الارض والارض ترسم حول الشمس مثنيا ممتدا وهو قطع ناقص وتكون الارض نقطة بورية للقطع الناقص الذي يتبعه القمر والشمس نقطة بورية للقطع الناقص الذي يتبعه الارض

والقوة المركزية للارض بالنسبة للقمر هي القوة التي تسمى بقوة التناقل والتجاذب كما سبق وهي القوة التي تهبط بها الكلة المرمية من اسفل الى اعلى وتجبرها على رسم منحنى كمنحنى **ا ب ث** (شكل ٦) اذا رميت رميا مائلا فاذا كانت قوة التناقل ثابتة ولم يحصل من الهواء مقاومة لتحرك الاجسام المرمية فيه فان الجرا والكلالة او الطيارة

أو نحو ذلك يرسم من أول دفعة تحصل له من القوة الأصلية قطعاً مكافئاً
مثل أ ب ث

ومقاومة الهواء الحقيقية تنقص بها المسافة المحاطة بالمخني وتسطح بها

المسافة الثانية من القطع المكافئ الوهمي ويحدث عنها مخني أ ب
والفرض المهم من تجارب فن الطوبجية هو أنه بحسب مججمات وبجورم
الكلل والجبب والرصاص ونحو ذلك وكذلك بحسب القوة التي ترى بها
تلك الأشياء واتجاه الدفعة الأصلية تعين النقطة التي يمكن وصول المرمي
إليها على ارتفاعات متنوعة وأبعاد مختلفة ولا نذكر هنا من علم
الميكانيكا التطبيقات العظيمة التي تحدث عنها القضايا النظرية التي تخص
فن الطوبجية

وقد ثبت الآن عند الأفرنج أن الأرض غير ساكنة ولا موضوعة كنقطة
ناشطة في مركز العالم بل تدور بسرعة على نفسها بحيث تكمل دورتها
في طرف أربع وعشرين ساعة وهي مدة الليل والنهار وعليه فبدور أن هذه
الكرة ينقل سكانها القاطنون على خط الاستواء من المغرب إلى المشرق
مع سرعة أكبر من سرعة الماشي مشياً معتاداً بأربع مائة مرة

فأذن تكون كل قطعة من قط الأرض مدفوعة بقوة عماسة تكاد تنقلها
بعيداً عن الكرة المذكورة وبقوة مركزية تكاد تجذبها نحو المركز وهذه القوة
المركزية هي السحابة جذب الأرض وحيث أن تأثير القوة العماسة واحد تقريباً
في سائر الأجسام الموضوعة بجوار بعضها فإن هذه الأجسام المتحركة بتأثير
تلك القوة تكون على حال بحيث تكاد أن تكون ساكنة

وليس (شكل ٧) مسقط الأرض موارياً لخط الاستواء بحيث يكون
خط الاستواء والموازيات كلها دوائر ولتقابل بين ت ح ر تقطعي ه و أ

الموضوعتين أحدهما على خط الاستواء وهو ه ه ه والآخرى على مواز
أي أن كوازي أ أ أ ونفذ نصف قطر و ص قريباً جداً من قطر ه ه ه

فاننا نزلنا بمودى $\overline{مه}$ و $\overline{س ص}$ على $\overline{هه}$ كان نصف القطر
وهما $\overline{وا}$ و $\overline{وه}$ مناسبتين بذاهة نطقي $\overline{هس}$ و $\overline{اس}$ الدالين على
القوتين المبدتين عن المركز المتسويتين لنطقي $\overline{هه}$ و $\overline{اا}$ الماديتين
فاذن تكون القوة المبعدة عن المركز الواقعة على كل نقطة مناسبة لبعدها المحور
عن هذه النقطة وهذا في حالة تحرك الارض حول محورها

وعلى ذلك تكون القوة المبعدة عن المركز كبيرة مهما امكن في قطبي $\overline{هه}$ و $\overline{وه}$
الموضوعتين على خط الاستواء وبهذه القوة يعدم جزء من تناقل الاجسام
ثم ان تناقل الاجسام في خط الاستواء يكون صغيرا عما اذا كان
في نقطة تامة من قطب الارض وسيأتي قريبا كيفية تحقيق ذلك بالتجربة.

ولنفرض ان برج $\overline{هف}$ يكون مبنيا في نقطة $\overline{هه}$ فاذنا من نقطة $\overline{وا}$
التي هي المركز قوس $\overline{فص}$ ومدنا $\overline{صس}$ عمودا على $\overline{وف}$
حدث هذا التماس وهو $\overline{وه} : \overline{وف} :: \overline{هص} : \overline{فص}$
وهذه هي نسبة القوى المتاسبة

فاذا وقعنا من $\overline{فب}$ التي هي رأس البرج جسمانا فان هذا الجسم يصل
الى اسفل البرج حين يكون الرأس في نقطة $\overline{صص}$ ويكون مدفوعا بالقوة
المتاسبة التي تجبره على قطع $\overline{فص}$ فاذن يلزم ان هذا الجسم حين يكون
اسفل البرج في نقطة $\overline{صص}$ لا يقع في هذه النقطة قط بل يقع ايضا في نقطة $\overline{زر}$

على بعد $\overline{هز} = \overline{فص}$ ولنوضح ذلك بالارقام فنقول
ان نصف قطر الارض في خط الاستواء يساوي ٦٣٧٦٤٦٦ مترا
ولنفرض انه في احدى المدن التي على خط الاستواء بنى برج ارتفاعه مائة متر
والمطلوب معرفة فاصل سرعة النقطتين الماديتين الموضوعتين احدهما

في أسفل البرج والاخرى في رأسه فيكون نصف قطر المحيط المقطوع بأحدى
التقطعتين ٦٣٧٦٤٦٦ مترا والمقطوع بالآخرى ٦٣٧٦٥٦٦ مترا
والنسبة المتعكسة لهذين العددين هي نسبة السرعة المتكررة وبما يسهل
مشاهدتها ان النقطة العليا تقطع في يوم واحد زيادة عن النقطة السفلى مائة متر
مضروبة في النسبة الحاصلة بين المحيط ونصف القطر ويحدث من ذلك
٦٢٨ مترا وكسورنا كان هنالك جسم ثقيل وخلي لتقلها الاصل في محل حال
عن الهواء فانه يهبط مائة متر في خمس فوان بالابتداء من احدى قطب محيط
خط الاستواء وذلك يساوي $\frac{1728}{1}$ جزأ من اليوم فاذا قسم ٦٢٨ مترا
على ١٧٢٨٠ فنحصل معنا الكمية التي يقرب بها اعلى البرج من جهة
المشرق اكثر من قرب اسفله اليامدة سقوط هذا الجسم وسيأتى ان الجسم
الثقيل لا يقع في أسفل البرج على مستقيم رأسى بل يتحول الى شربه يعنده
٢٦٢٨
١٧٢٨

$$= ٣٦ \text{ مليجراتقريبا}$$

وحيث ان مقاومة الهواء تبطل سقوط الاجسام لزم لسقوطها من ١٠٠ متر
اكثر من خمس فوان فعلى ذلك يتحول الجسم الثقيل عند سقوطه من اعلى البرج
الى جهة شرق اسفله بعدا اكثر من ٣٦ مليجرات وقد دلت التجربة على ذلك
ومنى دار جسم صلب حول محور احدثت جميع نقطه في زمن واحد ودورة
كامله وكانت سرعتها المتكررة مناسبة للمحيطات وبذلك تكون ايضا مناسبة
لانصاف اقطار الدوائر التي تقطعها هذه النقطة

وفي دائرتين مختلفتين يكون مركزهما في مركز الثقل ويكونان حاملتين
مع الانتظام اجزاء مادية تكون كمية هذه الاجزاء مناسبة لنصف القطر
فاذن يكون فيهما كمية الثقل (اعني حاصل ضرب الجسم في السرعة)
مناسبة لنصف القطر مضروبا في نصف القطر اعني لمربع نصف القطر

وينتج من ذلك في الآلات التي يستعملون فيها الجبال المجنونة المحتوية على
قضيبين مستديرين عرضهما واحد كقضيبين أبث و أرث

(شكل ٨) ان كمية التحرك التي يها دفع القضبان المذكوران عندما يتمان دورانهما في زمن واحد تكون مناسبة لمربع نصف قطر المجلات المذكورة فاذا كانت مجسمات المجلات متساوية كان تدوير الكبيرة اصعب من الصغيرة مثلا اذا كان $\overline{ا ب ث}$ اكبر من $\overline{ا ر ت}$ ثلاث مرات واثقل منه ايضا ثلاث مرات ففي اريد تدوير $\overline{ا ب ث}$ دورة كاملة في الزمن الذي يراد فيه تدوير $\overline{ا ر ت}$ لزم لذلك ضرب ثلاث مرات في نفسها اي تسع مرات بقدر كمية التحرك فاذا جعلنا $\overline{ا ر ت}$ اقل من الاول بثلاث مرات بدون أن يكون كبيرا فانه يكفي أن نضع هذه الكمية ثلاثا لتبقى السرعة على حالها فتكون الكمية المذكورة اصغر من الكمية التي تدفع $\overline{ا ب ث}$ لان هذه القوة اكبر منها تسع مرات

وبناء على ذلك اذا كان المطلوب حصرية عظيمة من التحرك في مجسم مادي معلوم فالاصوب تقسيم هذه المادة على محيط كبير القطر ومن المهم في كثير من الا^ل ان حصرية عظيمة مهما لمكن من التحرك في مجسم لا يؤثر قطه على تقط الارتر كاز كبيرا فبهذه الواسطة اذا عرض خلل او حدث عارض من عدم تساوي التحركات ونشأ عنه اسراع او بطئ مضر فان المجلة المدفوعة بقر لندوران ثابت ~~ت~~كتسب او ينعدم منها كمية من التحرك كبيرة بالكفاية من غير أن تغير سرعتها كثيرا والذي اقول ان المجلة المذكورة تكون بمنزلة المحافظ او المنظم الذي يؤثر غالبا تأثيرات نافعة ويطلق على محافظ القوى اسم الطيارات

وعوضا عن أن نجعل المحافظ على صورة قضيب متواصل مثل $\overline{ا ب ث}$ (شكل ٨) فنحصر غالبا المادة المطلوب توزيعها على قضيب $\overline{ا ب ث}$ في ثلاث قط او اربعة متساوية البعد عن بعضها كنقط $\overline{ا ب و ث}$ (شكل ٩) او $\overline{ا ب و ث د}$ (شكل ١٠) وحينئذ يكون لهذه المادة التي على بعد متوسط من مركز الدوران كمية واحدة من التحرك بالنسبة لسرعتها الثابتة

ولنبرهن على ان نقطة $و$ التي هي مركز دوران الطيارات تكون مركز
ثقلها ايضا فنقول ان العجلة بدون ذلك تكون دائما مجذوبة من جهة
اكثر من الاخرى فلا يكون فقر كما منتظما ولا متنسقا فلا بد لحصول النفع
من تحقق هذا الشرط وهو أن نأخذ مركز الطيارة ونجعلها مركز تماثل
الاتصال التي تستخدمها تلك الطيارة فهذه هي القاعدة التي جرى بها العمل
في (شكل ٩) و (شكل ١٠)

واما الدعوى النظرية التي سنذكرها فلا بد منها لصناع السفن
والساعاتية وصناع الآلات غير أنه في كثير من المدن يجهز العملة عن اتباعها
فيصور للمعلم أن يضرب عنها صفحا

وهذه الدعوى هي التي يبرهن بها في الاجسام الصلبة التي تدور حول المحور
كما تقدم في الكرة الارضية على ان القوة للبعده عن المركز تكون مناسبة
لبعد المحور عن كل نقطة مادية

ولذلك نرض ان مستوى شكل ١٢ يكون عموديا على هذا المحور الميكن

بنقطة $غ$ ولتكن النقط المادية المتساوية في الجسم وهي ٢ و $أ$ الخ و $م$

و $م$ الخ هي التي يتركب منها جسم $أ$ بشد فتكون ابعاد $غ$ م

و $غ$ م الخ و $غ$ م و $غ$ م الخ مناسبة للقوى المبعده عن المركز وربما كانت
دالة عليها

ولنفرض أن مركز الثقل يكون على محور $غ$ ونمّااعدة $م$

و $م$ الخ و $م$ ن و $م$ ن الخ على مستقيم كستقيم $س$ و $غ$ ص

المجوعول محورا المقادير اذ $م$ و $م$ الخ و $م$ و $م$ الخ فيحصل

اولا $م \times غ + م \times غ + \dots = م \times غ + م \times غ + \dots$

وثانيا $م \times م + م \times م + \dots = م \times م + م \times م + \dots$

اعني انه يكون قوى $غ$ م و $غ$ م و $غ$ م الخ

الى جهة مركز النقل وهذا ضرر فيجب اجتنابه في اغلب آلات الدوران لاسيما في الآلات التي تستعمل فيها الطيارات ومن هنا المساعدة المطلوبة وهي انه يلزم أن يكون مركز نقل الطيارة موجودا على محور الدوران ولنعبر ان تأثير القوى البعده عن المركز يقوم بالتوازي للمحور ولنفرض (شكل ١٢) ان مستوى الشكل يكون مستويا للمحور

ونرمز الى هذا المحور بخط س غ ص مع جعل قطعة غ مركز نقل الجسم ثم قطع الجسم بمستويات عديدة مثل م و م' و م'' الخ عمودية على المحور وليكن على مستوى الشكل نقط م و م' و م'' الخ دالة على مساقط مراكز نقل النقاط المادية المحصورة في كل مستوى تكون محصلة سائر القوى البعده عن المركز مينة بمحصوله قوى م × م و م' × م'

و م'' × م'' الخ ثم انه يلزم لاجل تعيين محصلة هذه القوى تحصيل ح التي هي محصلة القوى الموضوعة في احدى جهتي المحور وتحصيل خ التي هي محصلة القوى الموضوعة في الجهة الاخرى منه فاذا كانت قوتا

ح و خ موجودتين على عمود واحد على المحور وكان هذا المحور مارا بمركز نقل الجسم فان هاتين القوتين يكونان بالضرورة متوازيتين وبناء على ذلك لا يمكن أن يتحرك المحور في جهة ما بتأثير القوى البعده عن المركز لكن

كافي شكل ١٢ اذا كان عمودا ح و خ المتندان على محور

س غ ص لا يتسبان لمستقيم واحد فان المحور يكون مجبرا على الدوران

بتأثير قوتي ح و خ المضروبين على التناظر في بعدي غ ح و غ خ

و يتعمل مقدارا ح و خ بالنسبة لمركز نقل غ بضرب قوة م

م × م في غ وقوة م' × م' في غ' وقوة م'' × م'' في غ''

في غ' وهم جزاء ثم ينظر هل مجموع مقادير القوى المؤثرة في جهة

مساو لمجموع مقادير القوى المؤثرة في الجهة المقابلة لها ام لا
وقد يبرهن بطرق حساسية لاحاجة الى ذكرها هنا على ان مساواة المقادير
الاعتيادية شرط لا بد منه في جعل مقدار اي جسم المأخوذ بالنسبة لمحور

س غ ص نهاية كبرى او صغرى

واذا اريد أن محور الطيارات ومأثر المحاور المستعملة في آلات الدوران لا يقع
عليها من تأثير القوى البعده عن المركز ضغط في أي جهة كانت لزم تنظيمها بحيث

تكون قوتا ح و خ موضوعتين دائماً على مستقيم واحد عمود على
المحور في الزمن الذي يكون فيه هذا المحور مائلاً بمركز الثقل

وما يكون للمحاور المستوفية لهذا الشرط من عظيم النفع في تحريك الآلات
يؤيد تسميتها بالمحاور الأصلية

وبعد تعيين الانحجام الكثير الفائد للسلام لمحور الطيارات يلزم معرفة السرعة
التي تكون للطيارات عندما يستعمل في تحريكها قوة معينة ويكون حجمها

ومحجمها معينين ايضاً

ولاجل مزيد السهولة نرض أن محور الدوران عمود على مستوى شكل ١١
وليكن مينا نقطة و فيدور الجسم حول هذا المحور بواسطة قوة

ف ف على بعد و ف الذي هو بعد المحور المذكور ونفرض ف ف
في مستوى الشكل المتقدم

فيكون الجهد او مقدار ف ف المعد لتدوير المحور مينا بكمية

ف ف x و ف

وتكون السرعة المزدوية وهي آ التي يأخذها الجسم هي القوس المقطوع
مدة واحدة الزمن على الدائرة التي يكون نصف قطرها مأخوذاً واحدة لها

نقطع م التي هي النقطة المادية من الجسم في مدة واحدة الزمن قوس م م

$$\overline{A} \times \overline{M} =$$

فتكون \overline{M} التي هي كمية التحرك حيث نذهب $\overline{M} \times \overline{A} \times \overline{M}$ وتكون
الكمية الكلية لتحرك نقط الجسم وهي $\overline{M} \times \overline{M} \times \overline{M}$ الخ

$$\overline{A} \times \{ \overline{M} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{M} + \dots \}$$

ولاجل قياس التأثير الحاصل من كل عنصر بواسطة كمية التحرك المذكورة

لأجل تدوير المحور يلزم تحويل سائر نقط \overline{M} و \overline{M} الخ إلى مستقيم
فـ \overline{M} من إحدى جهتي المحور بدون أن يتغير بعدها عن هذا المحور وعلى ذلك

فسائر القوى المماسية التي تدفع \overline{M} و \overline{M} و \overline{M} الخ وهي القوى
المدلول عليها بكميات التحرك المتصلة معنا سابقا تكون متوازية
ومتجهة إلى جهة واحدة وتكون محصلتها وهي \overline{R} بموجب قاعدة مقادير
القوى معلومة من ضرب كل قوة في بعدها عن المحور فإذاً يكون

$$\overline{R} \times \overline{M} = \overline{A} \times \{ \overline{M} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{M} + \dots \}$$

أو يكون على سبيل الاختصار

$$\overline{R} \times \overline{M} = \overline{A} \times \{ \overline{M} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{M} + \dots \}$$

وتكون قوة \overline{R} باقية على حالتها وكلما تزايد مجموع $\overline{M} \times \overline{M}$

+ $\overline{M} \times \overline{M}$ + \dots تناقصت سرعة \overline{A} المتزوية وبالعكس

أي كلما تناقص هذا المجموع تزايدت سرعة \overline{A} المتزوية وبناء على ذلك

يكون المجموع المذكور دالا على مقاومة الجسم لتحرك الدوران

بواسطة الأثرين في هذا الجسم قوة معلومة ومن ثم قيل لهذا

المجموع مقدار لا ينزى فإذاً يكون مقداراً لا ينزى لنقطة مادية هو

مجموعها وهو \overline{M} مضروباً في مربع بعدها عن محور الدوران ويكون

مقدار الاينريسي لجسم ما مساويا لمجموع مقادير اينريسي كل جزء من اجزائه الصغيرة جدا وبالجملة فالسرعة الموزونة التي يأخذها الجسم بواسطة قوة ما حول محوره تساوي المقدار البسيط لهذه القوة مقسوما على مقدار اينريسي الجسم وهذه هي السرعة التي قومتها

ولمقادير الاينريسي خواص مهمة جدا في علم الميكانيكا لا يمكن ذكرها هنا لان ذلك يستدعي معارف عالية ولنفرض قطعتين ماديّتين كتطقي

٢ و ٢ (شكل ١٢) يكون مركز ثقلهما في نقطة \bar{G} ونديرهما

حول محور \bar{G} \bar{S} العمودي على \bar{M} \bar{G} فيكون مجموع مقادير اينريسي ٢ و ٢ هو

$\bar{M} \times \bar{G}^2 + \bar{M} \times \bar{G}^2$ وليكن الآن محور \bar{S} موازيا لمحور \bar{S} فيكون مقدار الاينريسي بالنسبة لهذا المحور الجديد هو

$\bar{M} \times \bar{G}^2 + \bar{M} \times \bar{G}^2$ فيكون فاضل هذين المقدارين هو

$\bar{M} \times \bar{G}^2 + \bar{M} \times \bar{G}^2$ اعني مربع \bar{G} الذي هو بعد المحور

عن مركز الثقل مضروبا في مجموع مجسمي ٢ و ٢

وليست هذه الخاصية مقصورة على قطعتين ماديّتين بل تجري ايضا في كثير من النقط التي يتركب منها الجسم الذي يمكن أن يكون له صورة ومجسم

حينما اتفق وعلى ذلك فمقدار الاينريسي في اتجاه \bar{S} المفروض

لمحور الدوران يكون صغيرا مهما كان هذا المحور مازا بنقطة \bar{G} التي هي مركز ثقل الجسم فاذا لم يكن مازا بمركز الثقل المذكور فان مقدار

الايترسي يزداد بكمية مساوية لجسم الجسم منصرف وبأى مربع بعد المحور
 عن مركز ثقل الجسم ولتجعل $\overline{م ك}$ مقدار ايتريسي الجسم الذى
 يجسبه $\overline{م}$ عندما يكون المحور مارة بمركز الثقل فيكون $\overline{ك}$ دالا على
 طول معلوم فاذا رمز بحرف $\overline{د}$ الى بعد مركز الثقل عن اى محور دوران
 كان مقدار الايتريسي بالنسبة لهذا المحور $\overline{م} \times (\overline{د} + \overline{ك})$
 وهو مقدار يسهل حسابه بمجرد معرفة مقدار الايتريسي المعين بالنسبة
 لمستقيم مواز للمحور ويمتد من مركز الثقل
 ويكون بالبداهة مقدار ايتريسي سائر المحاور الموازية لاتجاه معلوم
 والموجودة كلها على بعد واحد من مركز الثقل كبعد $\overline{د}$ هو

$$\overline{م} (\overline{د} + \overline{ك})$$

ويمكن أن تقابل بين مقادير ايتريسي الجسم المأخوذة بالنسبة لمحاور متنوعة
 مارة بمركز الثقل فنقول يوجد في هذه المحاور محور مقدار ايتريسيه اصغر
 من مقادير ايتريسي ما عداها من المحاور ولا مانع من تسميته بمحور الايتريسي
 الصغير وهذا المحور ثان عمودى على هذا المحور مارة بمركز الثقل مقدار ايتريسيه
 كبير مهما امكن ولا مانع من تسميته بمحور الايتريسي الكبير وثم ايضا
 محور ثالث عمودى على الاثنى السابقين لا مانع من تسميته بالمحور المتوسط
 تكون له هذه الخاصية وهى ان مقدار ايتريسيه يكون فى جهة $\overline{ك}$ كبيرا
 مهما امكن وفى الاخرى صغيرا مهما امكن وهذا بالنسبة للمحورين
 الممتدين $\overline{ا و ا}$ فى المستوى الحاصل بين هذا المحور الثالث ومحور الايتريسي
 الصغير وثانياً فى المستوى الحاصل بين المحور الثالث ومحور الايتريسي
 الكبير وهذه المحاور الثلاثة الشهيرة هى المعروفة بالمحاور الاصلية للاجسام
 وهى التى لوحظ من اجلها فيما سبق انه فى اى جهة تكون موازية لمحور
 الجسم او عمودية عليه لا تكون القوى المبدعة عن المركز مؤثرة تأثيرا يتغير به
 وضع المحاور المذكورة

وينتج من ذلك ان الجسم المتحرك دفعة واحدة حول احد محوري دورانه الاصليين يكون ملازما دائما المتحرك حول هذا المحور اذ ليس هنالك قوة مبعدة عن المركز تؤثر في جهة ما حتى يضرع وضع الجسم بالنسبة للمحور المذكور ويؤخذ من ذلك في آلات الدوران التي يلزم أن يكون محورها ثابتا ان احد محاور الانزيمى الاصلية يكون محور دوران للاجزاء الدائرة فاذا كان الجسم الذي كثافته واحدة في سائر اجزائه منتظما بسطح دوران وكان هذا الجسم متماثلا بالنسبة لمحور السطح المذكور ظهر لك بالسهولة عند تدوير الجسم حول هذا المحور ان القوى المبعدة عن المركز لا يحصل منها تأثير يغير وضع محور الدوران وحيث ان يكون هذا المحور من محاور الجسم الاصلية

وسيا في هذا ذكر آلات الدوران التي هي البكر والمخنيق والمعطاف ونحوها انه يلزم أن يكون للاجزاء المتحركة صورة سطح دوران يكون محوره محور الدوران اجتنابا لما لا فائدة له من تأثير القوى المبعدة عن المركز ثم ان تقطع جميع الاجسام التي لها محور تماثل تكون موضوعة مثني في بعد واحد من المحور على العمود النازل عليه فاذا ادير الجسم حول محور تماثله فان كل قطعتين موضوعتين بهذه المثابة يكونان مدفوعتين بقوتين مبعدين عن المركز متساويتين ومتضادتين فاذن تكون هذه القوى معدومة لبعضها مثني ولا يحدث عنها تأثير ما على المحور وبناء على ذلك كلما دار جسم حول محور تماثله لم أن يستمر على تحركه حول هذا المحور اذا خلى وقسه وهذا هو تأثير تحرك الدوامه وما شاكلها عمليدور حول محور تماثله الموضوع وضعارأسيا وتستمر الدوامه على التحرك مع النظام بعد أن تدفع دفعة اولية بواسطة حبل او نحوه او بإدارة اسفلها بالابهام والسبابة ثم تخلى وقسها

وقد نهنا سابقا على أن الضخات تكون متماثلة بالنسبة للمحور الرأسي المار بنقط تعليةها وهذا يمكن دوراتها بلا معارض حول هذا المحور بدون

أن تميل الى جهة أكثر من أخرى وهذا التأثير يمكن مشاهدته في البضائع
لا سيما اذا كانت معلقة في قباب مرتفعة

وفي آلات الدوران وهي انسيول او الكرسي المصنوعة من الخشب تكون تلك
الانسيول او الكرسي المعلقة لركوب الأشخاص الذين يلعبون لعبة الخاتم
موضوعة بالتعادل حول محور الدوران الرأسي وبناء على ذلك اذا تحركت
هذه الآلات فانها تستمر على تحركها بدون أن يحصل من ايترسها جهد
من كلا جهتي المحور

وقد تنقل قوة M مع سرعة V جسم M المقروض انه لامعارض له
تقلا مستقيما فاذا افقنا قوة M المذكورة على جسم M المقروض
انه ثابت بالمحور وكانت L هي بعد القوة عن هذا المحور يلزم أن $M \cdot V = L$
وهو مقدار القوة بالنسبة للمحور يكون مساويا $AM = (D + K) = A$
مضروبا في مقدار ايترس الجسم بالنسبة للمحور

واذا فرضنا ان الجسم موضوع على وجه بحيث يدور حول محوره بدون
أن يقع عليه ضغط في جهة ما فان هذا الجسم يتحرك كالكوكب لامعارض له
ويكون لمركز ثقله سرعة تساوي V وهي مينة بخط DA فاذن يكون
 $V = DA$ و $M \cdot V = L = M \cdot DA = AM = (D + K)$
وينتج من ذلك أن

$$DL = D + K + \dots + D = L$$

ويطلق مركز الدوران على نقطة من نقط امتداد اقصر بعدد من المحور
عن مركز الثقل في $\frac{K}{D}$ تكون على بعد $D + \frac{K}{D}$
من مركز الثقل عن المحور ومتى اثرت قوة في هذه النقطة تأثيرا عوديا على
هذا المستقيم أي المحور فانها تدبر الجسم بدون أن تدفع المحور الى جهة ما

فاذن تكون القوة المساوية والمقابلة لها معدمة لقوة الدوران الحادثة
عن القوة الاولى بدون أن يحصل منها دى ضغط على المحور وهذه هي خاصية
مركز الدوران وليكن $\frac{D}{S} = \frac{D'}{S'}$ فينتج أن $\frac{D}{S} = \frac{D'}{S'}$ و $\frac{D}{S} = \frac{D'}{S'}$
ويعلم من ذلك أنه يمكن نقل المحور بالتوازي لنفسه حتى يمر بمركز الدوران
وحينئذ ينقل مركز الدوران الى الطرف الآخر من D على المحور القديم
وفى هذا النقل انعكس فائدة جلية

(بيان البندول)

اذا ربطنا فى طرف خيط رقيق خفيف جدًّا جسمًا ثقيلًا لكنه صغير الحجم
ككلمة من حديد او رصاص او بلاتين (وهو الذهب الابيض) وربطنا
طرفه الاخر فى نقطة ثابتة كان الكلمة فى حالة السكون وضع يكون فيه الخيط
رأسيا ويكون مركز ثقلها فى الاتجاه الرأسى للخط المذكور وهذا هو
البندول المعروف ايضا بالشاقول (راجع الدرس الرابع من هذا الجزء
شكل ١٨ مكرر) ثم ان اهمية الشاقول المتحرك والشاقول الساكن
واحدة فى الاستعمال فاذا ابعدنا الشاقول عن الخط الرأسى كان ثابتا
فى نقطة θ وممتدا ومما ينبغي التنبيه عليه انه اذا خلى الجسم نفسه
وقطع النظر عن المقامات المتنوعة ياخذ ثقل A (شكل ١٣)
فى الهبوط بسرعة غير محسوسة تزايد شيئا فشيئا عندما يقرب هذا الثقل
لما يرتبط A و A' و A'' من خط θ الرأسى فاذا وصل الى
هذا الخط استقر على سببه وارتفع من A و A' و A'' الى A اعنى يكون
فى ارتفاع نقطة A ومضى وصل الى هذا الحد اخذ فى الهبوط ثانيا من A الى A' الى A''
كما هبط من A ثم يرتفع ثانيا الى A كما ارتفع الى A ان يوقف
فى نقطة A ليهبط كالزاوية الاولى وهكذا بالتوالى الى ما لا نهاية
ويمكن بقواعد الميكانيكا اثبات قوانين التحرك المتردد المعروف بتحرك الاربعاب

ويطلق اسم البندول على الشاقول اذا استعمل لاحداث رجات بدلا عن استعماله للدلالة على انعط الرأس

وفي كل لحظة من هبوط البندول بالابتداء من A الى O يحدث من جذب الارض دفعة جديدة لهذا البندول ليقترب من مركز الارض وباتحاد هذا الجذب مع القوة المعاكسة تتسبب تحدث بحركة شديدة لاحد لها بدون تأثير خيط AO الذي يحدث منه تأثير قوة مركزية

ولترمز بخط AG (شكل ١٤) الى تأثير التناقل وبمستقيم AS الى القوة المعاكسة المكسبة من الشاقول عند وصوله الى A . ولكن AG رمز الى القوة المركزية فيتصل معنا اولان $AG = AS$ وثانيا ان

قوتى AG و AS يقضيان مع قوة A المعاكسة بأن تسقط AG على AG من مماس الدائرة في نقطة A ثم نضيف هذا المسقط وهو AG الى AS اذا كان البندول هابطا او نطرحه منه اذا كان صاعدا ثانيا وحيث نتحدث معنا القوة المعاكسة عقب الزمن الذي يكون فيه البندول معنا تقطع قوس يساوى AS

وهذا يؤدي الى اننا عند صعود البندول في ازمته واحدة نطرح الكميات التي اضفناها الى القوة المبعدة عن المركز وحيث تكون هذه القوة عند الهبوط والصعود واحدة في النقط التي على بعد واحد من النقطة المنخفضة عنها وينبئ على ذلك أن هذه القوة اذا انعدمت من جهة انعدمت من الجهة الاخرى في ارتفاع واحد

وعلى ذلك فالنظريات تثبت ما دلت عليه التجربة من تساوى صعود البندول وهبوطه وتماثلهما

وهنا الخاصية اخرى عظيمة جدا تتعلق بالبندول وهي ان المدة الكلية للرجتين الصغيرتين تكون واحدة تقريرا وان كان القوس المقطوع في احدى

هاتين الرجتين ضعف القوس المقطوع في الرجة الاخرى مثني او ثلاثا وربع
وهكذا مهما كانت نسبة القوسين المقطوعين

ولاجل البرهنة على هذه الخاصية فرض بندولين كبندولي θ و θ'
متساويين (شكل ١٥) و (شكل ١٦) مختلفي البعد من المستقيم

الرأسي في مبداء الرجة وليكن تأثير التناقل الممين في هذين الشكلين برمز α

$\alpha =$ حاصل واحد في المدة الاولى فاذا اسقطنا α في α على

قوس α و α في α على قوس α ان كان α و α
هما القوتان المماستان

ولتخذ خطي α و α الاقربين الى خطي θ و θ'

الرأسيين فاذا فرضنا ان مثلث α صغير جدًا وامكن جعل قوس

α عمودا على α وكذلك على θ فان مثلثي α و α

و α القائمي الزاوية يكونان متشابهين حيث ان ضلعيهما المتقابلين
عمودان على بعضهما

وقديرهن يمثل ما تقدم (شكل ١٦) على ان مثلثي α و α
القائمي الزاوية يكونان متشابهين فاذن يحدث هذان التناسبان وهما

$$\alpha : \alpha :: \alpha : \alpha$$

$$\alpha : \alpha :: \alpha : \alpha$$

لكن حيث ان α و α متساويان وكذلك α و α فانه يحدث

ايضا هذا التناسب وهو $\alpha : \alpha :: \alpha : \alpha$

فانما فرضنا الآن ان الرجة تكون قليلة الامتداد جدًّا فان الفاضل بين

اص وقوس اق يكاد يكون معدوما وكذلك فاضل اصه وقوس

ان وعلى ذلك تكون المسافة المقطوعة في الوقت الاول مناسبة تقريبا

لامتداد قوسى اق و ان

و يبرهن ايضا بوجه تقريبي على ان السرعة الهامة تزداد عقب الوقت الثانى

والثالث والرابع والخامس وبناء على ذلك تكون المسافة التى يقطعها البندول

الاول والثانى في كل من هذه الاوقات مناسبة للقوس المعذبة لسير البندول

وعلى ذلك حتى كانت المسافة الباقية التى لم يقطعها البندول الاول معدومة

كانت المسافة الباقية التى لم يقطعها البندول الثانى معدومة ايضا وحيثئذ

يصل البندولان في زمن واحد الى اعظم رجة فاذن يكون للرجات مدة واحدة

اذا قطع النظر عن النفاضات الصغيرة جدًّا

و يكون لهذه الخاصية الاخيرة منفعة عظيمة في الفنون وعلوم الرصد في حالة

ما اذا تحرك البندول وخلي ونفسه وعارضت مقاومة الهواء جميع حركاته

وابطأ ثباتا بالتدريج وبذلك تنقص مسافة الرجات لكن لم تزل مدتها واحدة

فانما كان البندول ثقيلًا جدًّا كالرصاص او البلاطين كانت المقاومة التى

تعرض لهذا الجسم ضعيفة لا تغير مدة رجاته الا تغيرا قليلا فيكون معظم

هذه الرجات باقيا تقريبا على مدته الاصلية غير ان تكرر الرجات المستمر المعرض

لمقاومات الهواء الصغيرة ينقص بالتدريج مسافة الرجات ومع ذلك كله

تكون تلك الرجات متساوية تقريبا وزيادة على ذلك ينقص الفاضل الصغير

الموجود بين المدد المتتالية بحسب مخالفة هذه الرجات للرجة الاصلية

ثم ان الاجسام تكون سريعة الوقوع اذا كان مبدء وقوعها من نقط قريبة

من مركز الارض وقد علم مما سبق ان المسافتين الرأسيتين اللتين يقطعهما الجسمان

الخيليان وانفسهما للتناقل بدون معارض تكونان على نسبة منعكسة من

مربعى بعديهما عن مركز الارض

وعلى ذلك متى كانت أطوال البندولين على نسبة منعكسة من مربع بعد
البندول عن مركز الأرض فإن درجات هذين البندولين تكون حاصلة في زمن
واحد

وقد دلت الأوصاف الفلكية وقياس الأرض دلالة هندسية على أن الكرة
الأرضية مسطحة من جهة القطبين لأن سكان الأرض إذا قربوا من القطب
قربوا أيضاً من مركز الأرض وبموجب ذلك إذا كان الإنسان في جهة
القطب فإنه يرى البندولين اللذين تحدث درجاتهما في زمن واحد أطول
عما إذا رآهما وهو في خط الاستواء فحينئذ إذا كان مبدئ السير من خط
الاستواء لزم أن البندول يتزايد بالتدريج كلما قرب الإنسان من القطب
لتكون مدة الدرجات واحدة وزيادة على ذلك يكون طول البندول مينا
في كل مكان لبعدهم عن مركز الأرض عن النقطة التي يدق فيها ذلك البندول

وبدوران الأرض ينعدم من تناقل الأجسام جزء صغير لتتبادل قواها
المبعدة عن المركز وتثبت تلك الأجسام على سطح الكرة وهذه القوة التي
لا وجود لها في القطب تبلغ نهايتها الكبرى في خط الاستواء

وبملاحظة سببي التغيير معاتلم مطابقة العلم للتجربة ولله در المهندس بوردا فإنه
لمهارته اخترع بندولا منتظما بواسطته يحصل مع غاية الضبط قياس
أبعاد مركز الأرض عن قطع سطحها التي يتألف منها الخط الجانبي
الذي ينبغي على قياسه الطريقة المترية ثم إن ما وقع بين النتائج الحادثة
في موضوعنا هذا من على الهندسة والميكانيكا من غريب التوافق والاتحاد
هو من أعظم الشواهد على ما للعلوم من القوة من حيث الاستعانة ببعضها
على فهم غوامض البعض الآخر من حيث أنه يتوصل بها إلى صحة الظنيات
التي لا يتخلو عنها كل علم وتعلمها في سلك الطرق المتصلة المالك التي لا يوجد فيها
الخطأ إلا نادرا بحيث تكون مثلها في القطع ببعضها

وعوضا عن أن نفرض أن التناقل يتغير نفرض أن طول خيط التعليق هو الذي
يتغير ونفرض بندولين غير متساويين كبندولين θ_1 و θ_2

(شكل ١٧ و ١٨) يحدث هذا التناسب وهو

اث : اث :: م : ١

فاذا كان زيادة على ذلك نسبة قوس اق : قوس ان :: م : ١

كان شكلا ائق و ائق متساويين

ولكن اغ هي المسافة التي تقطعها في زمن ط = ١ بواسطة

التناقل قطعة ا المادية المفروض انه لا معارض لها وليكن اغ = م

x اغ فيكون اغ حيث ندلا على المسافة التي يجبر تأثير التناقل جسم ا

المفروض انه لا معارض له على قطعها في اوقات عدد م (و حرف م يدل على عدد غير محدود)

ولنسط اع في اغ و اغ في اغ فيحدث من مثلثي اغغ

و اغغ المتساويين هذا التناسب وهو

اث : اث :: اغ : اغ :: اغ : اق : ان

وعلى ذلك فساقتا اغ و اغ اللتان قطعهما البندولان بواسطة تأثير

التناقل المكرر في زمن م بالنسبة للبندول الاول وزمن ١ بالنسبة

للتاني تكونان مناسبتين لقوسى اق و ان فيتحرك حيث ندلا البندولان

بالتناسب على قوسى اق و ان بحيث تكون ازمة البندول الاول م

حين تكون ازمة الثاني ١ فاذن تكون نسبة الزمنين الكليين اللذين

استغرقهما البندولان في الوصول من اعلى قطعة الى الخط الرأسي الى بعضهما

كنسبة م : ١ متى كانت نسبة طولى البندول الى بعضهما :: م : ١

يعنى انه في الحمل الواحد من الارض تكون اطوال البندولين غير المتساويين

مناسبة لمربعي الزمنين اللذين استغرقهما هذان البندولان في احداث رجائهما

واول من عرف قانون تحركات البندولات هو المهندس الشهير غاليله صاحب الاستكشافات اللطيفة في ميكانيكا المتأخرين وقد اجرى في ذلك عملية عظيمة تتعلق بقياس ارتفاع القباب والقبوات

وقد جرت العادة بانه يعلق في الهياكل والسراريات باعلى نقطة من القباب والقبوات نجفات ذات ثقل عظيم بالنسبة للصلب او السلسلة المعلقة هي بها ويمكن في احداث ارتفاع هذه البندولات العظيمة ادنى شيء من الهواء وقد لاحظ المهندس غاليله مدة هذه الارتفاعات فرأى أن المدة التي يرتفع فيها بندول النجفة الواحدة عشر مرات مثلاً لا يرتفع فيما غيره الا مرة واحدة وحيث ان مربع العشرة اى عشرة مضروبة في مثلها يساوى مائة يكون البندول الاول اطول من الثانى مائة مرة فاذا كان طول البندول الصغير معلوماً فانه يبحث بأخذه مائة مرة طول البندول الكبير وبذلك يعلم الارتفاع الذى يكون لفتح القبة والقبوة فوق النجفة التى لقربها من الارض بسهل قياس ارتفاعها وعلى ذلك يمكن استعمال البندول في قياس الزمن بواسطة تساوى مدة رجائه الصغيرة ويمكن استعماله ايضا في قياس الارتفاعات بواسطة زيادة تلك المدة اوتقصانها

وقد عرف طول البندول الذى يذب التوائى السينية برصدخانه مدينة باريس معرفة صحيحة فكان مقداره من الامتار ٩٩٣٨٢٦٧ و ٢ على ذلك لو انعدمت اصول الاقيسة القرنسوية بمحادثة من حوادث الزمان وتقلبات الدهر حتى صارت خفية على العقول لامن معرفة طول المتر بمجرد النظر الى البندول الذى يذب التوائى بمدينة باريس

ولوعرف الرومان واليونان مثل هذه الطرق الناشئة من العلوم لبقيت جميع اقيستهم عندنا الى الان ومابقى من المسائل التى لا بد منها في العلوم والفنون والحرف مسئلة بلا حل وبيان

ولنطلب في الكلام على هذا الامر المهم الخالص بالعلوم التى بها يتوصل

الى ضبط اشغال الانسان وان كان الزمن متقلبا غير مضبوط وبسببها تنشط الارصاد والاشغال الوقتية بحركة الزمن المستمرة وقطع المسافات الارضية التي لا تتغير وبذلك تتحقق ثمرات مشروعات الانسان ويقتل ذلك على عمر الازمان فتقول

ان الساعاتية اخترعوا امر ابداعيا يتعلق بالندول وهو صناعة الآلات الدالة على الزمن المعروفة بالندولات

ولنفرض دائرة معدنية محدبة من جهة المركز على هيئة العدسة فلذا سميت بالعدسة وفعلتها في قضيب يكون متجها الى مركزها فاذا حركت حول الطرف الاخر من القضيب المذكور حدث عن ذلك ندول كالذي يستعمله الساعاتية

وكل درجة من درجات هذا الندول الحاصلة في ازمة منسوبة الى الموازنة للسير الثابت بالندول او الساعة الدافقة تكون بمنزلة المحافظ للقوى والمنظم لها ولا تكون هذا الا آلة مضبوطة الا اذا كانت لا تتغير ابعاد المادة التي تركب هي منها حيث ان القضيب المعدن لتعلق العدسة يتبدل بواسطة تأثير الحرارة وينكمش بواسطة تأثير البرودة وبذلك تكاد مدة درجات الندول تتغير دائما وقد صنعوا ندولات تعديل وهي ندولات تتعادل فيما تغيرات اطوال الاجزاء المتنوعة المركبة لها

وقد بين انه كلما زادت الحرارة امتدت قضبان النحاس بنسبة معلومة اكثر من قضبان الحديد وكلما نقصت الحرارة انكمشت تلك القضبان بنسبة معلومة اكثر منها ايضا وبموجب ذلك استعملوا لتعليق عوضا عن قضيب واحد عدة قضبان بعضها من الحديد وبعضها من النحاس

ولنفرض قضيبا من الحديد كقضيب أ ب (شكل ١٩) فجعل في نهايته السفلى عارضة اقنية كعارضة ش د عليها قضبان رأسيان من النحاس كقضبي ش هـ و د ف وعارضة اخرى اقنية يمتصها طوق يمر منه قضيب أ ب تجمع بين قضبي النحاس المذكورين ويكون

في قطبي $\overline{ك}$ و $\overline{ل}$ التين هما نهايتا العارضة المذكورة قضيان
من حديد قضبي $\overline{ك م}$ و $\overline{ل ن}$ مجتمعان معا بواسطة عارضة
 $\overline{م ن}$ ومثبتان في عدسة و فيقتديعلم ان ازدياد الحرارة في هذه الحالة
على قضبي الحديد وهما $\overline{ا ب}$ و $\overline{ك م}$ اللذين على ارتفاع $\overline{ا ب}$
الحقيقي يزيد تباعد نقطة التعليق وهي $\overline{ا}$ عن مركز العدسة زيادة متناسبة
لارتفاع $\overline{ا ب}$ المذكور وان قضبي النحاس وهما $\overline{ث ه}$ و $\overline{د ف}$
عند امتدادهما بواسطة تأثير الحرارة يرفعان عارضة $\overline{ك ل}$ ويرفعان
ايضا في زمن واحد قضبي الحديد وهما $\overline{ك م}$ و $\overline{ل ن}$ وكذلك
عدسة و المعلقة فيهما فتكون الكمية التي ترتفع بقدرها العدسة بواسطة
تأثير قضبي النحاس متناسبة لطول $\overline{ه ث}$ او $\overline{د ف}$ وينتج من ذلك
انه اذا كان طول $\overline{ا ب}$ و $\overline{ه ث}$ مناسبين لامتداد النحاس في الاول
والحديد في الثاني يكون مركز العدسة منخفضا بامتداد الحديد بقدر الكمية التي
يرتفع بها المركز المذكور بامتداد النحاس وما فرضناه في ازدياد الحرارة يمكن
فرضه ايضا في نقصانها فتكون الكمية التي يرتفع بقدرها مركز العدسة بالنكاش
قضبي الحديد مساوية للكمية التي ينخفض بقدرها مركز العدسة بتأثير
النكاش قضبي النحاس

وقد فرضنا في جميع ما ذكرناه أن البندول ليس الا خيطا مجردا عن التثاقل
معلقا بنهايته نقطة مادية لها ثقل ما ولكن ليس في الطبيعيات بندولات بهذه
المنابة فاذا استعمل في ذلك سلك لين او قضيب غير لين كان لسلك من اجزائه
ثقل معلوم و حجم معلوم وكذلك الجسم المعتبر نقطة مادية له ثلاثة ابعاد تمتد
التباسه بالنقطة المادية المذكورة ولا بد من معرفة القوانين التي تكوّن
بمقتضاها رجاء هذا البندول المعروف بالبندول المركب

ولنعلق في نقطة واحدة من محور واحد بندولين متساويي الجسم احدهما وهو ش وبسيط (شكل ١٤) والاخر وهو شده ف مركب فقي استقر هذان البندولان صار ساق البندول البسيط رأسيا ومارا بمرکز نقل البندول المركب

ولندفع هذين البندولين بقوة اقصية مؤثرة على بعد كبعد ر عن المحور فيكون تأثير التثاقل معدوما بالمحور في الزمن الاول ليكون للبندولين سرعة واحدة منزوية ويغني أن يكون مركز دوران البندول المركب متباعدة عن المحور بكمية ر المساوية لطول البندول البسيط فاذا ن يكون

$$\overline{ر} = \overline{د} + \frac{\overline{ن}}{\overline{د}}$$

ولنبحث عن التأثير الذي يحدثه التثاقل على البندولين عند تباعدهما عن المستقيم الرأسى فنقول

لنفرض أن التثاقل يؤثر من مبداء الامر على غ (شكل ١٢) الذي هو ساق البندول البسيط المار دائما بنقطة غ التي هي مركز نقل البندول المركب وايكن ول = ع هو الارتفاع الرأسى الذي تقيس به تأثير التثاقل في البندولين في زمن يسير كزمن ط ونحلل

ول و غ الى ول و ع تحليلاهما الى ش و غو فيكون تأثير التثاقل الحاصل على مركز نقل البندول المركب مينا يحبط ع وتأثير التثاقل الحاصل على البندول البسيط مينا يحبط ول = غ لكن حيث كانت نقطة و موجودة في مركز دوران البندول المركب فان قوة غ المتقولة الى ول تدبر البندول كما اذا كان في نقطة و اى كالمواضع البندول البسيط بالبندول المركب

فان تكون السرعة المتزوية الحادثة من التناقل واحدة في كل من البندولين البسيط والمركب وعلى ذلك يكون أولا البندولان البسيطان مستقرين بواسطة تأثيرات التناقل المتوالية على ارتجاجهما بسرعة واحدة وثانياً يكون طول البندول البسيط هو بعد المحور عن مركز الدوران المعروف حيث تدور مركز الارتجاج فاذن متى اعتبر في بندول مركب أن محور التعليق كمحور الدوران فإن مركز الدوران يعتبر كمركز التطبيق ويصيران شيئاً واحداً وقد تقدم انه متى قل بالتوازي محورا الدوران من ث الى و استقل مركز الدوران من و الى ث على مستقيم ش ر فاذن اذا قل محور تطبيق البندول المركب من ث الى و كان مركز الوجة منقولا من و الى ث وموجودا على محور التعليق الاول وقد استعملوا هذه الخاصية في تعيين وتحقيق طول البندول البسيط الذي يحصل رجائه في زمن حصول رجاء البندول المركب ثم ان البندولات المركبة واوضاع مراكز ثقلها ومحاور تطبيقها ومراكز ارتجاجها هي من اعظم المهمات في صناعة الساعات الدفاعة وغيرها من الآلات ذات التحرك المتردد لا سيما تحرك السفن عند عملها من جانب الى آخر او من المتقدم الى المؤخر وسيقا في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند الكلام على قوة الماء وتوضيح ذلك بآتم وجه

(بيان معادل الآلات البخارية)

في صناعة آلات الدوران التي تختلف فيما شدة القوة كالبخار على حسب تغير النار المستعملة تستعمل البندولات المركبة لتفحق بالتدريج مسلكا البخار عندما يحدث منه ضغط يبلغ حداً النهاية بحيث لو تجاوز ذلك لكان خطراً ومثال ذلك كرتان من حديد ملحومتان بقضيبين من حديد ايضا يرتجان على محور افقي يربا سطوانة رأسية فاذا دارت هذه الاسطوانة حدث من دوراتها قوة مبعدة عن المركز لكل من البندولين المركبين اللذين يدوران معها

بواسطة هذه القوة ويرفع كل منهما حتى تكون محصلة هاتين القوتين مارة
بمحور التعلق وبذلك تكون معدومة وحيث كانت هاتان الكرتان اللتان
بجسمهما واحد الموضوعتان على وجه متماثل بالنسبة للمحور يرتفعان
ويخفضان في كل وقت بكمية واحدة فان الطوق الذي يدور بدون مانع
حول الاسطوانة يكون معلقا بتضيين متصلين بساقى الهندولين فاذا كان يكون
هذا الطوق عرضة تارة للصعود واخرى للهبوط على حسب قرب الكرتين
وبعدهما عن المحور وقد يصحرك هذا الطوق ذراع الرافعة الذي يفتح او يغلق
كبيرا او قليلا المتخذ الذي يخرج منه البخار المتراكم (كما ستقف على ذلك
في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند ذكر القوى المحركة)

*(الدرس الثامن) *

*(في بيان الرافعة) *

قد ذكرنا جميع ما يتعلق بتحويل التمركات الحادثة بواسطة الحبال اللينة جدا التي
لا فائدة قلها الا بمجرد الشد بخلاف القضبان الغير القابلة للانثناء فان لها
فائدتين وهما المدفع والشد

وهناك عدة آلات ليس الغرض منها الا ان تستعمل واسطة بين القوة والمقاومة
المتجهتين على مستقيم واحد كيد المسحكة (شكل ٢) وكاشة المدفع
(شكل ٣) في فن الطوبجية وكشطاف البحارة وسيقان المكابس ونحوها
ولا يشترط في القضيب الغير القابل للانثناء كقضيب \overline{AB} (شكل ١)
ان يكون مستقيما بل يكفي ان تكون صورة انحنائه ثابتة لا تتغير فاذا افترضنا
على نقطة B قوة شد او تدفع في جهة BA او AB فان تأثير هذه
القوة يكون واحدا دائما كما لو كان القضيب مستقيما

والرافعة قضيب غير قابل للانثناء مستند على نقطة ثابتة تعرف بنقطة
الارتكاز وواقع عليه في نقطة ثانية تأثير قوة لاجل ابطال مقاومة حاصله
في نقطة ثالثة وهي على ثلاثة انواع

النوع الاول (شكل ٥) تكون فيه نقطة الارتكاز وهي A موجودة

بين قوة $\overline{ح}$ ومقاومة $\overline{ر}$

والنوع الثاني (شكل ٦) تكون فيه مقاومة $\overline{ر}$ موجودة بين قوة

$\overline{ح}$ ونقطة الارتكاز وهي $\overline{أ}$

والنوع الثالث (شكل ٧) تكون فيه قوة $\overline{ح}$ موجودة بين مقاومة $\overline{ر}$

ونقطة الارتكاز المذكورة

ولنفرض أن الرافعة المجردة عن التناقل تكون قضيا مستقيما كقضيب

$\overline{بأث}$ (شكل ٥) أو $\overline{بثأ}$ (شكل ٦) أو $\overline{أبث}$

(شكل ٧) العمودي على اتجاه القوة والمحصلة

فلا يمكن انعدام جهد قوة $\overline{ح}$ ومقاومة $\overline{ر}$ الانبثقة الارتكاز

وهي $\overline{أ}$ الثابتة في الآلة دون غيرها فاذن تكون محصلة $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$

مارة بنقطة $\overline{أ}$ واذن يكون

$$\overline{ح} \times \overline{أب} = \overline{ر} \times \overline{أث}$$

اعني أن القوة مضروبة في بعدها عن نقطة الارتكاز تكون مساوية للمقاومة

مضروبة في بعدها عن نقطة الارتكاز ايضا

فاذا استبدلنا رافعة $\overline{بأث}$ العمودية على اتجاه قوتي $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$

برافعة اخرى مائلة مضمّنة او مستقيمة كرافعة $\overline{سأث}$ لزم أن تكون المحصلة

دائما مارة بنقطة $\overline{أ}$ ومن ذلك يحدث

$$\overline{ح} \times \overline{أب} = \overline{ر} \times \overline{أث}$$

وليس $\overline{أب}$ و $\overline{أث}$ المستقيمين وهميين عمودين على اتجاه قوتي $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$

ولا بل اختصار العمليات يمكن أن نقرض دائما أن كل ذراع من الرافعة

يكون مستقيما وعمودا على اتجاه القوة الواقعة على طرفه

ولنفرض قوتين متساويتين كقوتي $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ (شكل ٨) عموديتين

على $\overline{أب}$ و $\overline{أث}$ المتساويين اللذين هما ذراعا رافعة $\overline{بأث}$

المنكسرة فتكون هاتان القوتان مؤثرتين في جهتين متضادتين بحيث يديران

الرافعة حول نقطة الارتكاز وحيث كان التساوي حاصلًا في كلتا الجهتين

وكانت الآلة متوازنة فان هذا التوازن يبقى على حاله مهما كان مقدار

زاوية $\overline{ب\alpha\theta}$

ولتكن الآن قوة $\overline{ر}$ مساوية ومقابلة لقوة $\overline{ح}$ فتكونان متوازيتين
 وحيثئذ تؤثر قوة $\overline{ر}$ على مقاومة $\overline{ح}$ كتأثير قوة $\overline{ح}$ عليها فاذن تكون
 $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ المتساويتان الواقعتان على طرفي ذراعي الرافعة المتساويين
 وهما $\overline{أب}$ و $\overline{أ\theta}$ لهما شدة واحدة بهما نقطة $\overline{أ}$ الثابتة
 مثلا اذا اشترنا بمستقيم $\overline{أب}$ لجزار مربوط بفرس يسحب على $\overline{ح}$
 فان تأثير القوس الواقع على نقطة $\overline{أ}$ يكون واحدا في سائر نقط الدائرة التي
 يقطعها $\overline{أب}$ مادام بعد $\overline{أ}$ عن $\overline{ب}$ ثابتا على حالة واحدة
 ولنفرض الآن أن قوتين حثمتا اتفق كعوى $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ (شكل ٩)
 يكونان واقعيتين على رافعة حثمتا اتفق كرافعة $\overline{ب\alpha\theta}$ فحيث أن $\overline{أ}$ هي
 نقطة الارتكاز ندير $\overline{أب}$ الى $\overline{أ\theta}$ بحيث يؤول $\overline{ب}$ الى $\overline{ح}$
 الموازي لخط $\overline{ش}$ ويلزم أن تكون محصلة قوتي $\overline{ر}$ و $\overline{ح}$ مارة دائما
 بنقطة $\overline{أ}$ الثابتة ومن هنا يحدث

$$\overline{ر} \times \overline{أ\theta} = \overline{أ\alpha} \times \overline{ح} = \overline{أب} \times \overline{ح}$$

وعلى ذلك فهما كل اتجاهها القوة والمحصلة يلزم دائما أن تكون القوة
 مضروبة في بعدها عن نقطة الارتكاز مساوية للمقاومة مضروبة في بعدها
 عن نقطة الارتكاز ايضا

(*) تطبيق ما تقدم على تحويل التحركات *

اذا اريد بواسطة الحبال تحويل تحرك الى اتجاهي $\overline{ب\alpha\theta}$ و $\overline{ش}$
 المتغايرين فانه يستعمل لذلك رافعة منكسرة كرافعة $\overline{ب\alpha\theta}$
 (شكل ٩) و (شكل ١٠) يربط بها حبلان او سلسلتان او جنزيران
 او سلكان معدنيان مثل $\overline{ب\alpha\theta}$ و $\overline{ش}$ وتكون نقطة $\overline{أ}$ التي هي
 رأس زاوية $\overline{ب\alpha\theta}$ ثابتة على محور صغير تدور حوله الرافعة وهذه النقطة
 هي نقطة ارتكاز الرافعة المذكورة

فإذا اقتضى الحال تحويل $\overline{تحرّكات}$ صغيرة فانه بواسطة شد $\overline{سك ح}$
 (شكل ١٠) تنقل $\overline{ب}$ الى $\overline{س}$ ويكون قوس $\overline{بسر}$ مغايرا قليلا
 بجزء من مستقيم $\overline{بسح}$ وبناء على ذلك لا يتغير اتجاه $\overline{سك بح}$
 ولا اتجاه $\overline{سك شر}$ المشدود بالذراع الثاني من الرافعة كما ان الذراع الاول
 منها مشدود بالسلك الاول

وهذه هي الكيفية المستعملة في توجيه السلوك المعدنية الواصلة من الجرس
 الموضوع بقرب الاماكن التي يكون فيها الخدم الى المكان الذي يكون فيه
 المنادى ونستعمل السلوك والرافعة المنكسرة في الالات الكبيرة لاجل
 تحويل التحركات المترددة

ولنفرض أن المطلوب في مجرى المكبس رفع مكبس $\overline{مم}$ (شكل ١٢)
 ونخضعه بواسطة قوة اقصية نشد في اتجاه $\overline{بسح}$ فن البسبي انه اذا شد
 سلك $\overline{بسح}$ في جهة السهم بواسطة الرافعة القائمة الزاوية وهي $\overline{بساث}$
 يرتفع ذراع رافعة $\overline{اث}$ ويرفع مكبس $\overline{مم}$ واذا اريد أن $\overline{ثط}$ الذي
 هو ساق المكبس يكون دائما على رأسي واحدا لم أن يكون دائما مماسا لقوس
 $\overline{ثث}$ الصلب المرسوم من نقطة $\overline{آ}$ المأخوذة مركزا

فاذا اقلتنا سلك $\overline{بسح}$ فان ثقل المكبس يوصل الرافعة الى وضعها الاصل
 ثم يأخذ هذا السلوك في التأثير ثانية لاجل رفع المكبس وقد تطلق التحركات
 المترددة على التحركات التي تحصل بالتعاقب في جهتين ويؤخذ من رجان
 البندول شاهد عظيم على مثل هذه التحركات

وقد تطبق عملية الرافعة المنكسرة على النشر تطبيقا مفيدا بواسطة علم الميكانيكا

فيلصق منشار $\overline{دض}$ (شكل ١٣ مكرر) من نقطة $\overline{ل}$ بساق
 $\overline{دث}$ ومن نقطة $\overline{ث}$ بذراع $\overline{ثا}$ من رافعة $\overline{ثاب}$ مع تاثير
 قوة $\overline{ح}$ على ساق $\overline{بسح}$ غير القابل للاثناء فاذا شد $\overline{بسح}$ وسم
 ذراع الرافعة وهو $\overline{اث}$ قوسا وكان المنشار مشدودا من جهة الرافعة

ومع دفع **ب ح** حصل تأثير مضاد وكان المنشار مدفوعا بالرافعة
ولهذا كان في علم الميكانيكا ما يماثل بين تحريك النشارين (شكل ١٣)
الذين تكون اعضاءهما هي **ش ا ب ح ر ض** و **ش ا ب ح ر ض**
رافعتين منكسرتين

ويمكن بواسطة الرافعة توازن القوة الكبيرة مع القوة الصغيرة * مثلا اذا كانت
المقاومة اقرب لنقطة الارتكاز من القوة بمائة مرة قطعت بذلك مسافة
لا تبلغ هذا القدر عند حصول التحريك لزم بمقتضى التعديل أن تكون المقاومة
أكبر من القوة ما نقره (فاذا كان حاصل ضرب المقاومة في ذراع رافعتها اقل
من حاصل ضرب القوة في ذراع رافعتها كان التحريك حاصلا في جهة القوة
وكانت الاكسائرة الى جهة الامام الا أن سيرها يكون بواسطة جزء من
القوة لم يعدم بالكلية لاجل توازن المقاومة فاذن يلزم طرح هذا الجزء
مما اريد بحصول جزء القوة الذي لا بد منه في حصول التحريك)

هذا وقد زعم من لا معرفة له بقواعد علم الميكانيكا مستغرا بهذه النتيجة
انه يمكن احداث القوة بواسطة الالات ومقتضاه انه يمكن بواسطة قوة صغيرة
ابطال مقاومة متوسطة وحفظ ما يبق من القوة الكافية لتحصيل التأثيرات
العظيمة وذلك لان القوة الصغيرة على زعمه توازن القوة الكبيرة

ويكنى في الوقوف على خطأ هذا القول اعتبار تحريك الرافعة فاذا فرضنا
ان قوتي **ح** و **ر** (شكل ١٠) متوازيتان بواسطة رافعة **ب ا ث**
ثم زدنا القوة الاولى عن الثانية قليلا فان التوازن يعدم ويكون التحريك حاصلا
حيث ان ذراع الرافعة وهو **ا ب** ياخذ في الدوران في جهة **ب ح**
الذي هو انجباء القوة الكبيرة والذراع الاخر وهو **ا ث** يدور في جهة
ث ر المقابلة لهذه القوة المقاومة فيقطعان في وقت ما زاويتين متساويتين
كزاويتي **ب ا ر** و **ث ا ث** فاذن يكون قوسا **ب ر** و **ث ث**
الذان قطعتهما تقطنا **ب** و **ث** مناسين لطول ذراعي الرافعة
وهما **ا ب** و **ا ث** (ولنفرض أن هذين الذراعين يكونان عمودين

على اتجاه القوتين المتقابلتين لهما

لكن حيثان $\overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{ا} : \overline{ب}$

يكون $\overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{قوس ش} : \overline{قوس ب}$

فعلى ذلك تكون قوتا $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ مناسبتين تناسب متعاكسا للقوسين اللذين تقطعهما نقطتا وقوعهما عند فرض اختلال التوازن

وهذا البرهان يظهر أن القوة الموازنة للمقاومة تكون مجبورة على قطع قوس كبير بقدر صغرها بالنسبة للمقاومة فيلزم حينئذ أن القوة في المسافة التي قطعها تقدر ما اكتسبته بنفسها لاجل توازن المقاومة فاذا كانت تكون كمية التحرك المقيمة بحاصل ضرب كل قوة في المسافة المقطوعة واحدة في جهة المقاومة بدون امكان زيادتها فان هذه القاعدة الشهيرة التي ذكرناها عامة في جميع الآلات ولا يمكن فيها اصلا ازدياد كمية التحرك فاذا ثبت استعماله احداث القوة

فاذا اخذنا مدة التحركين الحادثين من هبط $\overline{ب}$ و $\overline{ث}$ وجعلناها وحدة (شكل ١٠) فان مسافتيهما $\overline{ب}$ و $\overline{ث}$ يدلان على سرعتيهما ويطلق اسم السرعة المنبهة على السرعة التي تأخذها $\overline{ب}$ و $\overline{ث}$ اللتان هما نقطتا وقوع القوة والمقاومة اذا اخذنا التوازن قليلا جدا على حين غفلة ويعبر في الرافعة عن هذا التساوي وهو $\overline{ح} \times \overline{ب} = \overline{ر}$ $\times \overline{ث}$ بأن يقال في حالة التوازن ان القوة مضروبة في سرعتها المنبهة تكون مساوية للمقاومة مضروبة في سرعتها المنبهة

واذا فرضنا أن ذراع الرافعة وهو $\overline{اب}$ (شكل ١١) مائل بدلا عن كونه عمودا على $\overline{بح}$ الذي هو اتجاه القوة وادرننا الرافعة قليلا بقدر زاوية $\overline{بام} = \overline{سام}$ وكان $\overline{ار}$ عمودا على $\overline{بح}$ الممتد في حيثان نصفي القطرين مناسبتين للقوسين يحدث هذا التناسب وهو

$\overline{اب} : \overline{ار} :: \overline{بم} : \overline{سم}$

فإذا مددنا من نقطة $م$ مستقيم $م ن$ عمودا على $ب ح$ الممتد
حدث من ذلك مثلثا $ب م ن$ و $ا ب$ وهما متشابهان حيث ان
اضلاعهما اعمدة على بعضها ومن ذلك يحدث هذا التناسب وهو

$$ا ب : ا ح :: ب م : ب ن$$

وذلك يقتضى أن $ب ن = ب م$ وحيث انهما كانت $ب$ التى هى
قطعة وقوع قوة $ح$ على ذراع $ا ب$ فانه عند اختلال التوازن قليلا
وقياس المسافة التى قطعتها قطعة الوقوع على $ب م$ الذى هو اتجاه القوة
تحدث سرعة واحدة منبهة مقومة على هذا الاتجاه فيبتدئ يكون التوازن
حاصلا متى حدثت عن القوة المضروبة فى سرعتها المنبهة المقيسة بالوجه المتقدم
او عن المقاومة المضروبة ايضا فى سرعتها المنبهة المقيسة على الوجه المذكور
حاصل واحد على أى حالة كانت قطعتا وقوع القوة والمقاومة بفرض أن هاتين
القوتين يديران الرافعة فى جهتين متضادتين

وهذه هى القاعدة الشهيرة المعروفة بقاعدة السرعة المنبهة وليست مختصة
بالرافعة بل تجرى ايضا فى سائر الآلات وجميع ما للقوى من التراكيب
الوهمية وقد بنى المهندس لاغريج الشهير على هذه القاعدة اصول الميكانيكا
التحليلية التى جمعها فى كتابه الشهير الذى هو من اعظم مؤلفات هذا العلم
ثم ان محصلة القوتين المتوازيتين على الرافعة اذا انعدمت بنقطة الارتكاز
تكون مساوية للضغط الحاصل من الرافعة على نقطة الارتكاز المذكورة

فاذن يفجى أولا انه متى كانت القوة والمقاومة متوازيتين ومتجهتين فى جهة
واحدة كان الضغط الحاصل من الرافعة على نقطة الارتكاز مساويا لمجموع
القوة والمقاومة

وثانيا متى كانت القوتان مؤثرتين فى جهتين متضادتين كان الضغط الحاصل
من الرافعة على نقطة الارتكاز مساويا لتفاضل هاتين القوتين وينجها
الى جهة كبراهما

وعلى ذلك ففي الرافعة التي من النوع الاول (شكل ٥) يكون ضغط \bar{r} الحياصل على نقطة الارتكاز مساويا لمجموع القوة والمقاومة وفي الرافعة التي من النوع الثاني (شكل ٦) يكون هذا الضغط مساويا للمقاومة ناقصا القوة ومتجهها الى جهة المقاومة وفي الرافعة التي من النوع الثالث (شكل ٧) يكون مساويا للقوة ناقصا المقاومة ومتجهها الى جهة القوة فاذا لم تكن قوتا \bar{b} و \bar{c} متوازيين لزم أن نحدد اتجاههما حتى يتقاطعا في نقطة \bar{d} (شكل ١٤) ثم نرسم على مستقيبي \bar{b} و \bar{d} متوازي الاضلاع لقوتي \bar{c} و \bar{r} وهو \bar{a} و \bar{d} فيكون أولا وتر هذا الشكل مارا بنقطة الارتكاز وهي \bar{a} وثانياً يكون هذا الوزن لا مقدارا واتجاهها على الضغط الحاصل على نقطة الارتكاز

(ولكن \bar{a} و \bar{d} هو متوازي الاضلاع الحادث من \bar{a} و \bar{a} و \bar{a} الموازيين لخطي \bar{b} و \bar{c} حيث ان مستقيبي \bar{a} و \bar{a} عموديان على مستقيبي \bar{b} و \bar{c} فان مثلثي \bar{a} و \bar{a} يكونان قائمي الزاوية وزيادة على ذلك يكون كل من زاوية \bar{a} من المثلث الاول وزاوية \bar{a} من المثلث الثاني مساويا لزاوية \bar{d} فتكونان هما ايضا متساويتين فاذاً يكون مثلثا \bar{a} و \bar{a} متشابهين ومن ذلك يحدث هذا التناسب وهو

$$\bar{a} : \bar{a} :: \bar{b} : \bar{c}$$

لكن $\bar{a} = \bar{c}$ و $\bar{a} = \bar{d}$ فيحدث من متوازي الاضلاع للقوى هذا التناسب وهو

$$\bar{c} : \bar{r} :: \bar{d} : \bar{d}$$

فاذاً يكون $\bar{c} : \bar{r} :: \bar{a} : \bar{a} :: \bar{a} : \bar{a}$

$$\bar{c} \times \bar{r} = \bar{a} \times \bar{a}$$

وحيث أن تكون نقطة \bar{a} المأخوذة في النقطة التي يتقاطع فيها وتر متوازي

الاضلاع للقوى مع رافعة ب ا ث هي في الحقيقة نقطة الارتكاز وقاعدة ذلك اظهرها والاتحاد بين امرين متباينين

فانما كان هنالك عددا من القوى مثل ح و خ و ر و ض و ط (شكل ١٥) الواقعة على رافعة ث ب ا د ه ف ونزلنا اعمدة

ا ح و ا غ و ا ر الخ على اتجاه كل من هذه القوى ثم اخذنا أولا لقضائير القوى التي تدير الرافعة في جهة مجموع حواصل ضرب كل قوة في ذراع رافعتها وثانيا مجموع الحواصل المتقابلة لقضائير سائر القوى التي تكاد تدير الرافعة في جهة مضادة للمتقدمة ك كان التوازن حاصلًا اذا كان هذان المجموعان متساويين وحيث قد يهمل شرط التوازن من هذا التساوي وهو

$$ح \times ا ح + خ \times ا غ = ر \times ا ر + ض \times ض ضه الخ$$
 وحيث انهننا ك كلام تفصيلا على ما يتعلق بنظري الرافعة حق أن نتكلم على ما يتعلق بذلك من الاحوال الخصوصية الاصلية وعلاقتها فنقول

(بيان الرافعة التي من النوع الاول)

الرافعة البسيطة المنتظمة هي ما كان ذراعاهما متساويين والتوازن فيها مستلزما لتساوي القوة والمقاومة ايضا ومن هذا النوع الميزان فهو كما في شكل ١٦ كناية عن رافعة ذراعاهما ا ب و ا ث متساويان وتعرف بقب الميزان ونقطة ارتكازها وهي آ محمولة على لسان ل م ه وعلى هذا اللسان محور ل ا ه الافقي الذي يمكن أن يدور حوله قب الميزان وفي كلتا نهايتي هذا القب كفتان مستديرتان (شكل ١٦) او مربعتان (شكل ١٧) مربوطتان بسلاسل او خيوط ولا بد أن يكون نقل الكتلتين واحدا وأن تكونا متشابهتين وابعادهما واحدة وخيوطهما متساوية ومحور ثقلهما ما لا يمر مركز ثقلهما وأن يكون الوضع الاصل لتوازنهما هو الوضع

الذي يكون فيه هذا المحور رأسيا بحيث اذا وضع في مركز ثقل الكفتين شيء
يراد وزنه تكون هاتان الكفتان باقتين على وضعهما الاصلى ولا يكون الشيء
الموزون عرضة للسقوط بسبب ميل احدى الكفتين من جهة اكثر من الاخرى
فيوضع في احدى الكفتين ثقل $\overline{ح}$ الذي هو كناية عن قوة $\overline{ح}$ وفي الثانية
الشيء المطلوب وزنه الذي هو كناية عن مقاومة $\overline{ر}$ فهي كئت هاتان
القوتان متساويتين وكان قب الميزان اتقيا فان شرط التوازن يكون
$$\overline{ح} \times \overline{أب} = \overline{ر} \times \overline{أث}$$

فاذا لم يكن $\overline{أب}$ مساويا $\overline{أث}$ بل كان اصغر منه لزم أن تكون $\overline{ح}$
اكبر من $\overline{ر}$ ليكون الحاصلان باقين على تساويهما فعلى ذلك اذا كان
ذراعا الميزان غير متساويين ووضع الصنجة في جهة اصغرهما فانه يوازنها
من البضاعة ما يكون دونها في الثقل وهذا ما يسلكه اهل الفس الخسرون
في موازينهم الفاسدة فاذا اردت اظهار غشهم فضع الصنجة موضع البضاعة
الموزونة وهي موضع الصنجة فحيث ان القوة الصغيرة في نهاية الذراع الصغير
من الرافعة يعدم التوازن بين الصنجة والموزون

وقد استعملوا في كثير من القنون والتجارب التي عملها الكيمائيون
والطبيعيون والمهندسون كيفية لاتعلق بتعبط الميزان في شيء حيث يضعون
في احدى الكفتين جسم $\overline{ر}$ الذي يراد وزنه وفي الكفة صنج $\overline{ح}$ التي توازنه
ثم يرفعون ذلك الجسم ويضعون بدله اتقالا جديدة تجمع حتى توازن الصنج
للك ذكورة بجسم $\overline{ر}$ فهذه الاتقال الجديدة تدل ضرورة بمجموعها على ثقل
جسم $\overline{ر}$ مع الضبط

ولاجل اختبار ما يتعلق بالميزان اختصارا تاما يلزم اعتبار ثقل الكفتين وقب
الميزان ولا بد من وجود التوازن من مبداء الامر قبل وضع اى ثقل في الكفتين
ولا بد ايضا أن يكون ذراعا الرافعة متصدين في الثقل والطول وأن يكون مركزا
ثقلهما على بعد واحد من المستقيم الرأسي الممتد من نقطة الارتكاز او من
محور قب الميزان

فإذا كان اب و اث ذراعى الميزان و ش مركزى تعلقهما
 يلزم أن يكون س الذى هو ثقل ذراع اب المحصور فى غ متوازنا
 مع ص الذى هو ثقل ذراع اث المحصور فى ش فاذن يكون

$$\text{س} \times \text{ارغ} = \text{ص} \times \text{اش}$$

وإذا كان غ و ش نقطة الارتكاز وهى ا على مستقيم واحد
 كان التوازن حاصلًا دائمًا على أى حالة كان ميل الرافعة وفى هذه الصورة
 لا يأخذ الميزان وضعًا مخصوصًا إلا إذا وضع فيه ائقال اجنبية وبالجملة فإذنى
 زيادة فى الثقل تجذب احد ذراعى الميزان الى اسفل ويحصل من ذلك تحرك
 غير محدود

وينبغى مزيد الاهتمام بجعل مركزى غ و ش انخفض قليلا من نقطة
 الارتكاز (شكل ١٨) لكن بشرط أن يكونا فى ارتفاع واحد إذا كان
 ذراع اب و اث اقصين فإذا اختلف التوازن حينئذ قليلا بهبوط
اب مثلا (شكل ١٩) ودفع اث فان مستقيم اش يقرب
 من الافق بخلاف ارغ فانه يبعد عنه أكثر من بعده وهو فى وضعه الاول
 فاذن اذا مددنا مستقيمى س و غ و ص و ش الرأسيين من
 مركزى غ و ش ثم مددنا ايضا خط غ اشره الافق كان اشره
 بالضرورة أكبر من ارغ لكن يكون فى هذا الوضع $\text{س} \times \text{ارغ} = \text{ص} \times \text{اش}$ هو مقدار
 $\text{س} \times \text{ص} \times \text{اش}$ هو مقدار $\text{ص} = \text{س}$ فاذن يكبر مقدار
 البين وبذلك يأخذ ذراع اث فى الهبوط حتى يصير وضع رافعة
ب اشر اقصيا وحيث ان هذا الذراع هبط بسرعة معلومة بسبب ما اكتسبه
 من التحرك عند وصوله الى الوضع الافق فان هذا التحرك يكون مستمرا ويكون
اث نازلا تحت الافق بخلاف اب فانه يرتفع فوقه فيحصل بذلك
 ارتجاج يصير مستمرا حتى كان لا يحدث عن الاحتكاك او مقاومة الهواء ما يمنع

هذا الاستمرار الا أن تأثيراتين المتفاوتتين يوقف الموازين المضبوطة ضبطا تاما بعد عدة رجات طويلة المسافة وقصيرتها لكنها تكون محدودة دائما

وليكن $\overline{و}$ (شكل ١٨ و ١٩) مركز ثقل قب الميزان فانما كان التوازن مختلفا قليلا فان ثقل $\overline{س} + \overline{ص}$ يأخذ في توصيل $\overline{و}$ الى المستقيم الرأسى بواسطة قوة $= (\overline{س} + \overline{ص})$ مضروبة في قوس $\overline{م و}$ الذي يقطعه مركز $\overline{و}$ من ابتداء مستقيم $\overline{أم}$ الرأسى وهو قوس مناسب لبعده $\overline{أو}$ بالنسبة الى زاوية واحدة

واذا اردت أن تعرف عند عمل الميزان هل مركز ثقل القب قريب او بعيد عن نقطة الارتكاز وهي $\overline{آ}$ لزم أن تعد في زمن معلوم رجات هذا القب فان كانت بطيئة جدا وصعبة الحصول ~~كان~~ كان المركز قريبا جدا من نقطة الارتكاز وان كانت سريعة جدا كان الامر بالعكس فيلزم تعريب المركز من نقطة الارتكاز بأن ترفع او تخفض مركز ثقل قب الميزان وذلك بحذف شئ من جزئه الاسفل او اضافة شئ اليه

وقب الميزان هو بدول مركب تعلم سرعة وجاته ومدتها بالحسابات المذكورة في الدرس السابق متى تعين مقدار ان يرسى الميزان ووضع مركزه وهو $\overline{و}$

و ثم طريقة سهلة يعرف بها صحة وضع قب الميزان وهي أن تأخذ لسان $\overline{أم}$ المثبت في القب تبيها جيدا (شكل ١٦ و ١٧) وتجعله عمودا على رافعة $\overline{ب آ}$ فتكون عمالة $\overline{لم د}$ المسكة من نقطة $\overline{م}$ عند رفع الميزان في وضع رأسى ومتى كان $\overline{ب آ}$ اقريبا كان اللسان العمودى عليه رأسيا وحينئذ يكفي لصحة الميزان أن يكون اللسان غير مائل الى جهة اليمين ولا الى جهة الشمال عند خلوكه في الميزان او عند وضع الصنج في احدهما والشئ المراد وزنه في الاخرى

هذا ومقتضى ما ذكرناه من التفاصيل أن الآلات البسيطة لا يمكن أن تبلغ في الصناعة درجة كمال مالم تعين القوانين الميكانيكية اللازمة لاجزائها المتنوعة لكي تكون تامة الضبط

والقبان كليزان فهو رافعة من النوع الاول تستعمل لايقاع التوازن بين ثقل ايا كان وقوة صغيرة تعرف بالمانة

فتفرض رافعة مستقيمة كرافعة $\overline{ب آث}$ يكون ذراعها الصغير وهو $\overline{آث}$ مأخوذا وحدة قياس وذراعها الكبير مقسوما الى عددا من الوحدة فبحسب وضع الرمانة المرموز اليها بحرف $\overline{ح}$ في تقط التقسيم وهي ١ و ٢ و ٣ و ٤ الخ تكون هذه الرمانة موازنة للثقل المرموز اليه بحرف $\overline{ر}$ فيكون مساويا للثقلها مرة واحدة او ٢ او ٣ او ٤ الخ

فاذا قسمنا كل جزء من اجزاء الذراع المذكور وهو $\overline{آب}$ المقسوم سابقا الى اجزاء مساوية للذراع الصغير وهو $\overline{آث}$ تقسيما نأوي بأن تقسم كل جزء من تلك الاجزاء الى عشرة اجزاء متساوية مثلا فان كلامن هذه الاجزاء الثانوية يدل في حاصل $\overline{آب} \times \overline{ح}$ على عشر حاصل $\overline{آث} \times \overline{ح}$ وذلك يستلزم لاجل حصول التوازن أن يزيد ثقل $\overline{ر}$ زيادة تساوي عشر $\overline{ح}$ وكل تقسيم نأوي مساو لجزء من مائة من $\overline{آث}$ يدل ايضا في حاصل $\overline{آب} \times \overline{آث} = \overline{آث} \times \overline{ر}$ على جزء من مائة من $\overline{آث} \times \overline{آث}$

فعلى ذلك اذا قسمنا ذراع $\overline{آب}$ الى آحاد وعشرات ومئات ونحو ذلك فسمية مضبوطة امكن تعيين مرات استواء ثقل $\overline{ر}$ مثلا على ثقل كثقل $\overline{ح}$ وتعيين اعشار هذا الثقل المأخوذ وحدة وكذلك عشر هذا الثقل وواحد من مائته وهلم جرا

وما ذكرناه في درجات الميزان يمكن اجراء بعضه في القبان فيلزم أولا أن تكون نقطتنا الوقوع وهما $\overline{ب}$ و $\overline{ث}$ موجودتين على مستقيم واحد مع نقطة الارتكاز وهي $\overline{آ}$ ونأينا أن مركز ثقل القبان يكون اخفض قليلا من نقطة $\overline{آ}$ ويكون على خط رأسي مع هذه النقطة اذا كان خط $\overline{آث}$ اقويا

فاذا اقتضى الحال الوقوف على ضبط الوزن بالقبان كان التعويل في ذلك على تكرير الوزن بمعنى انه بعد حصول التوازن بين الجسم والمانة وتعيين النقطة التي حصل فيها التوازن نضع محله منجبا بحدرا الارطال المعينة بالقبان

فان حصل التوازن كانت الآلة مضبوطة والا فلا وبالجمله فهما كان خلل الآلة المستعملة فان الصبح التي توضع محل الجسم المراد وزنه تقوم مقام زنته حين تتوازن مع الرمادة والفرق الحاصل بين ابطال الصبح والارطال المعينة بالتبان هو خلل تلك الآلة ولا يخفى أن استعمال هذه الطريقة يسهل به في كثير من الصور ما صعب من العمليات الثابتة بالتجارب وبالبراهين ونحو ذلك من اليقينات

ثم ان التبان من الروافع التي من النوع الأول حيث تتوازن فيه مقاومة ايا كانت مع قوة اصغر منها وليست هذه الروافع مقصورة على تحصيل التوازن بل نستعمل ايضا في تحصيل التحركات

وذلك كدفة السفن صغيرة كانت او كبيرة فهي مما نحن بصدده فلنفرض

رافعة كرافعة **ث** **أ**ب (شكل ٢١) الثابتة من نقطة **أ** على مؤخر

السفينة يكون احد ذراعيها وهو **أ**ب منعصا في الماء والثاني وهو **أ**ث

ممسك من نقطة **ث** بيد الرئيس او غير ما يوليه ميكانيكية حيث ما اتفق

فاذا كانت السفينة سائرة وكانت دفة **ث** **أ**ب موجودة في اتجاه السير

فانه لا يعرض لها مقاومة من الماء بخلاف ما اذا دفع الرئيس يد الدفة التي هي

أث الى نقطة **ث** مثلا فانه يعرض لجزء الدفة وهو **أ** مقاومة **س**

التي تزداد بازدياد زاوية **ب** **أ** **ث** وتقل قوة **س** المائلة الى قوتين

احدهما قوة **ص** التي في جهة **أ** **ث** ولا تأثير لها الا شد الدفة من جهة

طولها لتخلعها من رذاتها والثانية قوة **س** العمودية على **أ** **ث** التي

تدفع الدفة الى جهة مضادة للسير ويجب ما سبق في الدر من الخامس يكون

لقوة **س** تأثيره تدور السفينة ويكون مقداره مساويا **س** **خ** **غ**

فرض ان **غ** **غ** هو بعد مركز ثقل السفينة وهو **غ** عن اتجاه **س**

ولنجعل **ح** رمز الى قوة الرئيس الواقعة على نقطة **ث** ولنجعل **د**

رمز الى مركز وقوع **س** فيصير لاجل توازن الدفة **ح** **خ** **أ** **ث**

$$= \text{س} \times \text{أد}$$

* (بيان الرافعة التي من النوع الثاني) *

قد سبق أن المقاومة في الرافعة التي من هذا النوع تكون موجودة بين القوة
ونقطة الارتكاز فلا تستعمل هذه الرافعة إلا في الأحوال التي تكون فيها
القوة أصغر من المقاومة

ومن هذه الروافع المدارى والمخاذيف المستعملة لسير السفن إلى الامام فتكون
القوة واقعة على نقطة N (شكل ٢١) التي هي مقبض المدرة المرموز
اليها برمز N وم وشاذة للمقبض المذكور ومن مؤخر السفينة إلى مقدمة
وتكون نقطة الارتكاز وهي M موجودة في الطرف الآخر من المدرة
وتكون المقاومة حاصلة من السفينة في O التي هي نقطة من تقط حافة
السفينة أما بواسطة ثقب في هذه الحافة أو مسبار رأسي يعرف بالآخر يطم
ومن البديهي أنه إذا عين مركز مقاومة جزء المدرة المنغمس في الماء كانت القوة
مضروبة في بعد هذا المركز عن مقبض المدرة مساوية للمقاومة مضروبة
في بعد المركز المذكور عن النقطة التي تكون فيها المدرة مستندة على حافة
السفينة لأن هذا المركز معتبر كنقطة الارتكاز

ويلزم تصبير الذراع الصغير بثقل ما حتى تكون الرافعة متوازنة تقريبا على
نقطة O التي قلت هي اليها بواسطة السفينة وذلك لتلايزداد الشغل على
الملاح بالاتكاء على هذا الذراع لاجل موازنة الذراع الكبير

* (بيان الرافعة التي من النوع الثالث) *

حيث إن القوة في هذه الرافعة موجودة بين نقطة الارتكاز والمقاومة فأنها
بالضرورة تكون أكبر من المقاومة فلا تستعمل هذه الرافعة إلا في الأحوال
التي تكون فيها القوة أكبر من المقاومة

ومن هذه الروافع الريشة وفرشة الرسم وقلم الجدول فيلزم أن يكون سن
الريشة وقلم الجدول سريع الحركة لصغر المقاومة التي تعرض له على الورق
ومن هنا يعلم الوضع الملائم لأمساك هذه الآلات

فتكون \bar{A} التي هي نقطة ارتكاز ريشة $\bar{A}st$ (شكل ٢٢) موجودة على العقدة الاولى من السبابة فتكون المساومة حيثخذ في نقطة \bar{B} من الورق الذي تحصل فيه الكتابة التي هي تأثير الرافعة وتكون القوة مضسومة بين الابهام والسبابة والوسطى الى \bar{M} و \bar{D} و \bar{O} فاذا قلبت اليد (شكل ٢٣) لتنظر سن الريشة ابصرت \bar{M} و \bar{D} و \bar{O} التي هي نقط وفروع الاصابع المذكورة وكلما ازدادت قوة الاعصاب الواقعة على \bar{M} و \bar{D} او \bar{O} لتنقص في النقطتين الاخرين منها كانت الريشة مدفوعة الى جهات

متنوعة فلا يرسم سائر انواع الحروف والصور

وفي عملية الكتابة شاهدين على التركيب الحقيقي للآلات البسيطة في الظاهر فانك ترى وقت الكتابة الاصبعين الاخيرين من اليد اليمنى مسندا للريشة والساعد الايمن والذراع الايسر مسندا للجسم بجمامه وكل ذراع مع يده يتركب من اثنتين وعشرين رافعة من النوع الاول وكل ساق مع رجله يتركب من ثلاث وعشرين رافعة من ذلك النوع

ثم ان ارباب التاكيف الذين لا يرضون استعمال الآلات المركبة في الفنون ويحترضون على تركها ويميلون الى الاصول الطبيعية يستعملون رافعة اصطناعية متحركة بثلاث قوى متصلة من مجموع تسعين رافعة موجودة في النوع البشري من اصل الخلقة وهذه الروافع يدفعها او يجذبها بالتعاقب مائة وعشرون طاقعة من الاوتار المعروفة بالاعصاب التي منها ما هو مربوط بنقطة الارتكاز من جهة الامام ومنها ما هو مربوط بها من جهة الخلف وحيث كانت كثرة الاوتار والروافع لا توجب اختلالا ولا تعطيل في العمليات التي يباشرها الانسان باعضائه سهل علينا ان نثبت ان هذا التركيب العجيب يلزمه النباهة والاستعداد لاجراء عدة عمليات دقيقة ليست في وسع غيره من سائر الحيوانات التي هي دونه في الاعصاب والروافع بالنظر لتركيبها

وفي القنون ما هو قطر هذه الامور الطبيعية كالروافع والاوتار فان اذرعة
الاشارات وروافع متحركة بواسطة جبال كما أن اذرعة الانسان تتحرك
بواسطة الاعصاب

فاذا اقتضى الحال تفصيل التوازن بين قوة صغيرة ومقاومة كبيرة لم
بواسطة استعمال رافعة واحدة. وضع قطعة الارتنكاز قريبة جداً من قطعة
وقوع المقاومة وربما نشأ عن ذلك في كثير من الاحوال موانع قوية تمنع
من حصول المطلوب مع الصحة والضبط وقد يتدارك هذا الخلل باستعمال
عدة روافع كالتي في شكل ٢٤ وحيث ان قوة ح واقعة على طرف الذراع
الاكبر من رافعة ب ا ث فان طرف الذراع الاكبر وهو ر من
رافعة ثانية كرافعة ش د ه يكون موضوعا على قطعة ث التي هي
طرف الذراع الاصغر وهو ل من الرافعة الاولى وقس على ذلك رافعة ثالثة
كرافعة ه غ ش وهكذا

ولتكن س و س و س الخ هي المقاومات الحاصلة على
ث و ه و ش التي هي قط تقاطع الروافع المتوالية ولتكن
ل و ل و ل الخ هي الاذرعة الكبرى من تلك الروافع و ل و ل
و ل الخ هي اذرعها الصغرى فيحصل معاشرة التوازن وهو في الرافعة

$$\text{الاولى} \quad \overline{ل} \times \overline{س} = \overline{ل} \times \overline{س}$$

$$\text{وفي الثانية} \quad \overline{ل} \times \overline{س} = \overline{ل} \times \overline{س}$$

$$\text{وفي الثالثة} \quad \overline{ل} \times \overline{س} = \overline{ل} \times \overline{س}$$

فاذا ضربنا اقوال الحدود الاول من هذه المعادلات في بعضها ثم الحدود
الثواني كذلك وطرحنا من الحاصلين الكميات المشتركة وهي س و س
و س الخ فبقي ان ر هي القوة الاخيرة اي المقاومة يكون شرط

التوازن على وجه الاختصار هو

$$\overline{1} \times \overline{1} \times \overline{1} \times \overline{1} = \overline{1} \times \overline{1} \times \overline{1} \times \overline{1}$$

اعني أن القوت مضروبة في الاذرع الكبري من الراضة تساوي المقاومة مضروبة في الاذرع الصغرى منها

ولنفرض مثلاً أن الذراع الأكبر من الروافع يساوى الذراع الأصغر عشر مرات
 فإذا أخذنا بالتوالي رافعة واحدة أو ٢ أو ٣ أو ٤ الخ ظهر أن
 المقاومة مساوية للقوة مضروبة في ١٠ أو ١٠٠ أو ١٠٠٠ أو ١٠٠٠٠ الخ
 وعلى ذلك يكفي في حصول التوازن بين قوة ومقاومة أكبر منها عشرة آلاف
 مرة أربع روافع تكون فيما تقطع الارتكاز أقرب إلى المقاومة من القوة
 عشر مرات فقط

وفي انكسرة يستعملون عدة روافع كالمتقدمة في (شكل ٢٤) في قياس قوة القنن المتخذة من الحديد

ونستعمل ايضا الروافع المتقدمة استعمالا بديعا في اثبات ما يكون التقضبان
المعدنية من الامتداد عند تعريضها للحرارة وهذا الامتداد الدقيق جدا الذي
لا يدركه النظر يلزم ضربه في عشرة آلاف مع الروافع الاربعة المذكورة
اذا كان الذراع الاكبر من الرافعة الاخيرة عشر مبدا لا به يكون حيث تسريع
الحركة فيكون اذن بواسطة تقسيم القوس الذي يقطعه هذا العقرب الحكم على
ما يكون للتقضب المعدني من الامتداد وبهذه الكيفية يمكن أن نعين مع الضبط
نسب امتداد الحديد والصلب والنحاس وهي نسب يستفيد منها الساعاتية
ونعود عليهم بالمنفعة

(راجع بنودلات التعديل المتقدمة في الدرس السابع)

*** (الدرس التاسع) ***

❖ (في بيان البكرات والمقات) ❖

البكرة من حيث هي (شكل ١) تتكون من ثلاثة أجزاء أحدها قرص مستدير

محيطه ثم ميزاني عميق من سائر جهاته لاجل ادخال الحبل وثانيها محور يدور عليه القرص وثالثها حالة خمالة أ ب ش د مثلهي جسم يوجد به ثقب م ن الذي يدور فيه القرص وفيه ثقب آخر هو ط مستدير عمودي على م ن المذكور معدلا لدخول محور البكرة فيه

وفي البكرة الثابتة (شكل ٢) تكون الحالة ثابتة ومربوطة بنقطة ثابتة فرضا او تحقيقا كنقطة س وكذلك يلزم أن يكون المحور ثابتا والافلابد من أن يكون بعده عن نقطة س لا يتغير وأن تكون قوة ح مؤثرة في احد طرفي ح ا م ب خ ومقاومة خ ثابتة في الطرف الآخر منه فاذا اثرت القوة في المقاومة فانها تشد الحبل حتى يظهر منه جزءان

مستقيمان يخرمي أ ح و ب خ احدهما هو أ ح واصل من البكرة الى القوة والاخر من البكرة الى المقاومة ويظهر منه ايضا جزء على صورة منحنى أ م ب يلتف على محيط حلق البكرة وهو اقصر خط يمكن رسمه بين نقطتي أ و ب على سطح هذا الحلق وقد سبق ايضا حواص هذا السطح في الدرس الخامس عشر من الجزء الاول من هذا الكتاب

فاذا كانت قوتا ح و خ في مستو رأسي كان هذا المستوى ايضا مستويا لمنحنى أ م ب ولا يمكن أن تكون هاتان القوتان متوازيتين بالنسبة لنقطة س الثابتة الا في صورة ما اذا كانت النقطة موجودة في مستوى القوة والمقاومة الرأسي

وكان البكرة الثابتة تستعمل في رفع الدلاء من الآبار وكذلك فيما يستخرج من المعادن تستعمل ايضا في تحصيل القوة والمقاومة ونقطة الارتكاز الموضوعة كلها في مستو رأسي واحد يتجه عليه طرف الحبل المرموز اليه

برمز ب خ مربوط به المقاومة التي هي كتاب عن ثقل معلق بمحبل ب خ يراد رفعه

وفي الصورة المستثناة اذا لم يكن $\overline{A\Gamma}$ وهو اتجاه جزء الحبل المربوط فيه القوة رأسياً يكون ذلك الحبل على صورة مخن يعرف بالسلسلة كما تقدم وقد سبق ايضاح خواصها في الدرس السادس من هذا الجزء

وحيت ان الحبل فيما عدا هذه الصورة يكون ملفوقا على حلق البكرة فلا بد أن تكون شروط توازن هذا الحبل هي عين الشروط المذكورة في الدرس الرابع المعقود لتوازن الحبل الممتد على السطح والمشدود من طرفيه بالقوى فعلى ذلك

يكون الشد الحاصل للحبل المذكور في جميع قطعه وهي \overline{A} و \overline{M} و \overline{B} التي على محيط البكرة باقيا على حالة واحدة فاذا كانت القوة حيث تد الواقعة على نقطة \overline{A} مباشرة والمقاومة واقعة على نقطة \overline{B} مباشرة ايضا لزم أن تكون هاتان القوتان متساويتين مهما كان اتجاههما

فاذا لم تكن القوتان المذكورتان واقعيتين مباشرة على هاتين النقطتين بل كانتا واقعيتين على بعد واحد من بعضهما وقطعنا النظر عن ثقل الحبل لزم أن تكونا متساويتين ايضا بخلاف ما اذا لم تقطع النظر عنه بل اضفناه من جهة الى القوة ومن اخرى الى المقاومة فيلزم أن يكون المجموعان متساويين ليكون التوازن حاصل حول محور البكرة

وهذا مما لا بد منه في رفع الاجمال الى ارتفاعات عظيمة وكلما ازداد تأثير القوة هبطت مع الحبل الذي نشده واكتسبت من ثقله جزءا مساويا بالضبط للجزء المطروح من جهة المقاومة وبناء على ذلك اذا كبرت القوة فانها تحدث للمقاومة تحركا الى اعلى يعظم شيئا فشيئا حتى يكون خطرا

ولا جمل فاضل واحد بين القوة والمقاومة نستعمل سلسلة تعدل

كسلسلة $\overline{X\Gamma}$ و المربوط بها حمل \overline{X} المطلوب رفعه رأسياً ولنفرض أن هذه السلسلة والحبل المربوط به القوة والمقاومة متساويان في الطول الا أن السلسلة تكون ضعيفة في الثقل فاذا شدت قوة \overline{X} الحبل

حق قلته الى $\overline{ح}$ فان جزء $\overline{اب}$ يزاد بقدر $\overline{ح ح}$ وجزء $\overline{ب خ}$
 ينقص بقدر $\overline{خ خ}$ وذلك ناشئ عن عدم نقصان شيء من مقاومة $\overline{خ}$
 وعن اكتساب قوة $\overline{ح}$ ضعف ثقل جزء $\overline{جبل ح ح}$ وحيث ان مقاومة
 $\overline{خ}$ المذكورة ارفع بقدر $\overline{خ خ} = \overline{ح ح}$ فان جزء سلسلة التعديل
 وهو $\overline{ل ن}$ الموضوع على سطح افقي يرتفع ويصير رأسيا ويثقل من
 جهة المقاومة لكن حيث كان $\overline{ل ن}$ مساويا في الطول لكل من
 $\overline{ح ح}$ و $\overline{خ خ}$ كان ضعف كل منهما في الثقل فاذن تنكسب قوة $\overline{ح}$
 من جهة ضعف ثقل $\overline{ح ح}$ وتنكسب مقاومة $\overline{خ}$ من جهة اخرى
 ضعف هذا الثقل وبناء على ذلك يكون دائما بين القوة والمقاومة فاضل واحد
 وذلك نتيجة مهمة في كثير من الصور

فانما كان جبلا $\overline{ا ح}$ و $\overline{ب خ}$ (شكل ٢) متوازيين كانت محصلة
 قوتى $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ المتساويتين موازية لاتجاهى $\overline{ا ح}$ و $\overline{ب خ}$
 ومارة بمحور القرص واذا لم تكن قوتنا $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ المذكورتان
 (شكل ٤) متوازيتين لم أن تكون محصلتهما مارة دائما بمحور القرص
 وهو $\overline{ث}$ ونقطة التعليق وهى $\overline{س}$ ولا يمنع ذلك من بقاء هاتين القوتين
 على التساوى واذا مددنا اتجاهى $\overline{ا ح}$ و $\overline{ب خ}$ حتى تقاطعا في نقطة
 $\overline{د}$ لم أن تكون نقطت $\overline{ث}$ و $\overline{س}$ و $\overline{د}$ الثلاثة على مستقيم واحد
 ويحدث من هذا المستقيم مع $\overline{ا ح}$ و $\overline{ب خ}$ اللذين هما اتجاهها القوة
 والمقاومة زاوية واحدة

وإذا اردب معرفة الضغط الحاصل من قوتي ح و خ على ث الذي هو محور القرص فاننا نعين محصلة دش من متوازي الاضلاع وهو دهش ف الذي يدل ضلعا على المتساويين وهما ده و دف على القوة والمقاومة وذلك أن وتر دش هو محصلة القوتين المتجهتين على دس ث اعني الضغط الحاصل على محور القرص وبإضافة هذا الضغط الى ثقل البكرة ينشأ الجهد الكلي الواقع على نقطة الارتكاز وهي س

وحيث كانت القوة في البكرة الثابتة مساوية دائما للمقاومة كان لا يمكن استعمال هذه الآلة الا في تحويل قوة من اتجاه الى آخر بدون أن يتغير مقدارها ولذا كانت البكرات المستعملة في ذلك تسمى باسم يلايعها وهو بكرات الرد لان الغرض منها ليس الاراد القوة من اتجاه الى آخر

فإذا لم تكن قوتها ح و خ متساويتين فان مغزاهم تقدم من كبرهما جزأ بقدرها ويحترل حينئذ قرص البكرة في جهة كبرهما بفاضل القوتين غير أن الضغط الحاصل من القرص او المحور على الجملة يكون مساويا لمحصلة قوتين مفروض مساواة كل منهما للقوة الصغرى وعلى ذلك فيمكن أن يكون تحترل البكرة بطيئا جدا وان كان الضغط الحاصل على المحور عظيما جدا ويكفي لذلك أن تكون القوة والمقاومة كبيرتين جدا ~~لكن~~ يكون بينهما اختلاف قليل وهذه هي قاعدة الآلة التي اخترعها المهندس افود لينث بالتجربة قوانين سقوط الاجسام التي تقدم ذكرها في الدرس الثاني من هذا الجزء

ولقد نصفي قطر ثا و ثب (شكل ١) عمودين على اتجاهي

ا ح و ب خ فيكون مستقيم اب عمودا على ثش د

الذى يقسم زاوية ا ث ب الى جزئين متساويين فاذن تكون اضلاع
مثلث د ه ش و ا ث ب متقابلة وعمودية على بعضها ومن ذلك
يحدث هذا التناسب وهو

ح = خ : ر :: ده = دف : دش :: ا ث = ث ب : ا ب
وبناء على ذلك تكون في البكرة الثابتة نسبة القوة المساوية للمقاومة الى
ضغط ر الحاصل على نقطة الارتكاز كنسبة نصف قطر القرص الى وتر
ا ب المحاصر لقرص ا ب المحاط بجزء من الحبل الملقوف على القرص

(بيان البكر المتحرك) *

اذا ابدلنا في البكر الثابت (شكل ٢ و ٤) النقطة الثابتة بقوة ر
المساوية لبعهد الحادث على هذه النقطة من تأثير ح و خ كان التوازن
باقيا على حاله بين القوي الثلاثة وهى ح و خ و ر وانما يتغير البكر
الثابت بالبكر المتحرك (شكل ٣ و ٥) فيحدث اذن في البكر المتحرك
من قوتي ح و خ الواقعتين على طرفي الحبل المار بالقرص ومن قوة
ر الواقعة على الجملة هذان التناسبان وهما

$$\underline{\underline{ح}} = \underline{\underline{خ}} : \underline{\underline{ر}} :: \underline{\underline{ده}} = \underline{\underline{دف}} : \underline{\underline{دش}}$$

$$\underline{\underline{ح}} = \underline{\underline{خ}} : \underline{\underline{ر}} :: \underline{\underline{ثا}} = \underline{\underline{ثب}} : \underline{\underline{اب}}$$

وتبدل في العادة احدى قوتي ح = خ بنقطة ثابتة كنقطة خ فتكن
حينئذ قوة ح في موازنة مقاومة ر وقد يعبر عن التناسب الاخير بهذه العبارة
فيقال

ان نسبة القوة الى المقاومة في البكر المتحرك كنسبة نصف قطر القرص الى

الوتر الماصر لقوس \overline{AB} المحاط بجز من الحبل الملقوف على القرص
 وهذه النسبة قائمة وهي أنه بموجبها يستغنى عن تركيب متوازي
 الاضلاع لقوى لانها تتعلق باصول هندسية مستعملة كثيرا ومعلومه
 الحساب في جداول مطبوعة تعرف باسم الجداول اللوغاريثمية والجيبية

ومتي كانت قوتا \overline{H} و \overline{X} متجهتين بالتوازي (شكل ٣) لزم
 أن تكون مقاومة \overline{R} متجهة مثلها وزيادة على ذلك تكون مساوية

لمجموعهما وهو $\overline{H} + \overline{X}$ وهنا واعظم تأثير يمكن حصوله من هاتين
 القوتين بواسطة البكرة المتحركة لاجل شد الجملة

وكما كانت الزاوية الحادة من اتجاهي \overline{H} و \overline{B} (شكل ٥)

منفرجة قصرت \overline{R} ولزم أن تكون مقاومة \overline{R} صغيرة اذا كانت

قوة $\overline{H} = \overline{X}$ محدودة ولزم ايضا أن تكون قوة \overline{H} كبيرة اذا كانت
 \overline{R} محدودة

وقد سبق أنه يلزم عوضا عن استعمال قوتي \overline{H} و \overline{X} للتوازن

مع قوة ثالثة كقوة \overline{R} (شكل ٣ و ٥) أن تربط غالبا احد حبلتي

\overline{H} او \overline{B} في نقطة ثابتة تكون متعملة للجهد الذي تتحملة قوة \overline{X}
 التي يمكن توفيرها

مثلا في صورهما اذا كان الحبلان متوازيين (شكل ٣) تكون قوتا

\overline{H} و \overline{X} متساويتين فيكون في حصول التوازن بين قوة $\overline{R} = \overline{H}$

$+ \overline{X} = 2\overline{H}$ أن نستعمل قوة \overline{H} وحدها فيوفر حيثئذ

النصف من استعمال القوة في تحصيل التوازن. وهنا كما رأيت في تحصيل

التوازن دون تحصيل التحرك لان فصل التحرك لا وفرفيه

ولنفرض حيث في زمن معلوم أن قطعة $\overline{خ}$ تكون باقية على ثباتها
وأن قطعة $\overline{ح}$ تسير بقدر كمية $\overline{ح}$ فيقتل قرص البكرة من $\overline{ام ب}$

الى $\overline{ام}$ ولا يتغير طول الجبل ويلزم أن يكون $\overline{خ ب م ا ح}$

$= \overline{خ - م ا ح}$ فإذا طرحنا من الجبلين طولى $\overline{ام ب}$ و $\overline{ام}$ -
التساويين وطول $\overline{خ - ر}$ و $\overline{ح ا}$ المشتركين بقى هذا التساوى وهو

$$\overline{ع ح} = \overline{ا ا} + \overline{ب - ر} = \overline{ع ث}$$

ولكن $\overline{ث ح}$ يساوى الكمية التى تتقدم بها $\overline{ر}$ الى $\overline{ث}$ فإذا لم تكن
قوة $\overline{ح}$ الا نصف $\overline{ر}$ لزم أنها تقطع ضعف المسافة التى تقطعها $\overline{ر}$
وحينئذ اذا ضربنا كلتا هاتين القوتين فى المسافة التى قطعنها فى زمن معلوم
كان الحاصل واحدا وهو

$$\overline{ح} \times \overline{ع ح} = \overline{ر} \times \overline{ر ر}$$

ثم ان مسافتى $\overline{ح ح}$ و $\overline{ر ر}$ الصغيرتين يدلان على سرعتين المنهيتين
لقوى $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ وما ذكرناه من التساوى ينضمّن قاعدة تتعلق بالسرعة
المنهية وهى جارية فى سائر الاكالات بسيطة كانت او مركبة وفى جميع ذلك
ترى أنه اذا امكن بواسطة تقطع الاركان حصول التوازن بين القوى الكبيرة
والقوى الصغيرة عند وجود التحرك فان التعديل الحاصل بين القوى
والمسافات المقطوعة يكون على وجه يهيئ لاتخاذها كميات التحرك اصلا
وفى الغالب تختلط البكرة الثابتة بالبكرة المتحركة كما تراه فى شكل ٦.

وهذه الكيفية تعلق المصاييح المعدة للتنوير

وحبل $\overline{ح ا س ح ا ب خ}$ يمر حول بكرة ارث الثابتة ثم يمر حول

بكرة $\overline{ابث}$ المتحركة التي يعلق بها ثقل $\overline{ر}$ ثم يربط في نقطة $\overline{خ}$ الثابتة

وليكن $\overline{ح}$ هو الشد أو الجهد الحاصل للعبيل المشدود بقوة $\overline{ح}$ فلاجل

أن يكون توازن البكرة الثابت بأقبا على حالة واحدة يلزم أن يكون $\overline{ح}$

$= \overline{ح}$ ثم لاجل بقاء توازن البكرة المتحركة على حالة واحدة يلزم عند مدوتر

$\overline{اب}$ في القرص من نقطتي $\overline{ا}$ و $\overline{ب}$ اللتين يتقطع فيهما مس الحبل لهذا القرص تحصيل هذا التناوب وهو

$$\overline{ح} = \overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{اث} : \overline{اب}$$

وهو شرط بسيط

فإذا فرضنا (شكل ٧) أن هناك عثة بكرات متحركة مختلطة ببعضها

كان أولا حبل البكرة الأولى وهو $\overline{خ اب حث}$ مربوطا في نقطة $\overline{خ}$

الثابتة وفي نقطة $\overline{ث}$ التي هي مركز البكرة الثانية زائنا يكون حبل البكرة

الثانية وهو $\overline{خ اب حث}$ مربوطا في نقطة $\overline{خ}$ الثابتة وفي نقطة

$\overline{ث}$ التي هي مركز البكرة الثالثة وهم جزئا

فانا كانت $\overline{ح}$ و $\overline{ح}$ و $\overline{ح}$ الخ هي الشدود الحاصلة من حبال

$\overline{ب ح}$ و $\overline{ب ح}$ و $\overline{ب ح}$ الخ حدثت هذه المعادلات وهي

$$\frac{\overline{ر}}{\overline{ح}} = \frac{\overline{اب}}{\overline{اث}}$$

$$\frac{\overline{ح}}{\overline{ح}} = \frac{\overline{اب}}{\overline{اث}}$$

$$\frac{\text{أب}}{\text{أث}} = \frac{\text{أخ}}{\text{أث}}$$

فأذن يكون

$$\frac{\text{أب} \times \text{أب} \times \text{أب} \times \text{أب}}{\text{أث} \times \text{أث} \times \text{أث} \times \text{أث}} = \frac{\text{أخ}}{\text{أث}} \times \frac{\text{أخ}}{\text{أث}} \times \frac{\text{أخ}}{\text{أث}} \times \frac{\text{أخ}}{\text{أث}}$$

ولنبه على أنه إذا قسمنا $\overline{\text{أخ}}$ على $\overline{\text{أث}}$ ثم ضربنا خارج القسمة في $\overline{\text{أث}}$ تحصل معنا عدد $\overline{\text{أخ}}$ وإذا قسمنا هذا العدد على $\overline{\text{أخ}}$ و $\overline{\text{أث}}$ ثم ضربناه في $\overline{\text{أخ}}$ و $\overline{\text{أث}}$ تحصل معنا هذا العدد بعينه فأذن لا يبق معنا الاكون مقاومة $\overline{\text{أث}}$ المقسومة على القوة الاخيرة وهي $\overline{\text{أث}}$ تساوى حاصل ضرب سائر النسب في بعضها وهي

$$\frac{\text{أب}}{\text{أث}} \times \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \times \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \times \frac{\text{أب}}{\text{أث}}$$

وهذه الحسابات كما ترى مختصرة جدًا فإذا كان وضع البكرات معلوما كانت

$$\text{نسب } \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \text{ و } \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \text{ و } \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \text{ الخ معلومة أيضا ويمكن حينئذ أن نعين}$$

القوة التي لا بد منها في موازنة مقاومة معلومة والمقاومة التي لا بد منها في موازنة قوة معينة

ومعنى كانت سائر القوى متوازنة (شكل ٨) كانت حبال $\overline{\text{أب}}$

و $\overline{\text{أب}}$ و $\overline{\text{أب}}$ الخ اقطار الاقراص $\overline{\text{أبث}}$ و $\overline{\text{أبث}}$

و أثبت الخ على ذلك تكون هذه الجبال ضعف انصاف اقطار

ا ت و ا ث و ا ث الخ فاذن تكون $\frac{ر}{ح} = ٢ \times ٢ \times ٢ \times ٢$ الخ

بمعنى ان عامل ٢ يتكرر بقدر ما يوجد من البكرات المتحركة
فانما بحثنا في حالة التحرك عن نسبة المسافات التي قطعها القوة والمقاومة
وجدنا المسافة التي قطعها مقاومة ر نصف المسافة التي قطعها
قوة ح وهي على النصف من المسافة التي قطعها قوة ح وهي ايضا على
النصف من المسافة التي قطعها قوة ح وهكذا وحينئذ تكون نسبة مسافتى
هـ و هـ التين قطعتهما قوة ح ومقاومة ر هي

$$\frac{هـ}{هـ} = \frac{١}{٢} \times \frac{١}{٢} \times \frac{١}{٢} \times \frac{١}{٢} \times \frac{١}{٢} \times \frac{١}{٢}$$

وهذه الانصاف تتكرر بقدر ما يوجد من العوامل التي هي

$$\frac{ر}{ح} = ٢ \times ٢ \times ٢ \times ٢ \times ٢ \times ٢$$

وهذه هي النسبة الحاصلة بين المقاومة والقوة ثم اذا ضربنا هذين المقدارين
في بعضهما حدث

$$\frac{٥ \times ر}{٢ \times ح} = \frac{١}{٢} \times \frac{١}{٢} \times \frac{١}{٢} \times \frac{١}{٢} \times \frac{١}{٢} \times \frac{١}{٢} \times ٢ \times ٢ \times ٢ \times ٢ \times ٢ \times ٢$$

المتحركة

$$١ = \frac{١}{٢} \times ٢ \quad \text{يحدث حينئذ} \quad ١ = \frac{٥ \times ر}{٢ \times ح}$$

وذلك يقتضى أن مقاومة ر مضروبة في مسافة هـ التي قطعها في زمن ما

لجهد الحادث من محصلة \overline{R} وكل منها يتحمل $\frac{R}{2}$ وهو جزء من الجهد

او $\frac{R}{1+2}$ وهو جزء منه ايضا لكن $\overline{H} = \overline{H}$ هو شدة \overline{B}

فاذن تكون قوة \overline{H} مساوية لمقاومة \overline{R} مقسومة على ضعف عدد
البكرات المتحركة (شكل ٩) وعلى ضعف هذا العدد زائدا واحدا
(شكل ١٠)

وفي هذه الصورة كالتى قبلها تسهل البرهنة على أنه اذا تحركت الآلة قليلا
كانت نسبة المسافتين اللتين قطعتهما القوة والمقاومة في زمن واحد كعكس
نسبة هذه الاعداد

وذلك لانه متى هبط $\overline{ش}$ بكمية ما لازم أن تكون ابعاد \overline{B} و $\overline{B'}$
و $\overline{B''}$ الخ و \overline{A} و $\overline{A'}$ الخ متزايدة على حساب اطوال الهبوط
فاذن يكون الطول الكلى للبال من \overline{A} الى $\overline{ش}$ الخ متزايدا بقدر عدد الجبال
ويلازم حيثئذ أن يكون جبل \overline{A} الخ المعالوم هو الذى احدث هذا الطول فنقطع \overline{H}
مسافة ذلك الطول فعلى ذلك اذا كان 2 (شكل ٩) هو عدد الجبال
فان نسبة مسافة \overline{R} الى التى قطعها \overline{R} الى مسافة \overline{H} الخ التى
قطعها \overline{H} $1 : 2 :: \overline{H} : \overline{R}$

لكن $\overline{R} : \overline{H} :: 2 : 1$ فاذن تكون قوة \overline{R} مضروبة
فى المسافة التى قطعها \overline{R} تساوى قوة \overline{H} مضروبة فى المسافة التى قطعها
 \overline{H} الخ ويبرهن ايضا على هذا القاعدة بكل ١٠

وتم نوعان من البكرات المركبة المعروفة عند العامة بالعبارات احدهما
(شكل ٩ و ١٠) مركب من عدة اقراص بكرات موضوعة على محاور
متفرقة مارة بجمالة واحدة وثانيهما مركب (شكل ١١ و ١٢) من
عدة اقراص بكرات موضوعة على محور واحد مارة بجمالة واحدة وهذه

الاقراص متفرقة عن بعضها بفواصل ثابتة معتبرة كالحزب من الجملة
ولكل من النوعين المذكورين منافع ومضار في النوع الأول تكون
اقراص كل عيار في مستوا واحد مع الجبل الذي يمر بالتوالي من عيار
الى آخر

وفي النوع الثاني يتغير مستوى هذا الجبل لاجل مرور من عيار الى آخر
بحيث ان جميع اجزائه الموجودة في احدى جهتي العيارين وان كانت متوازية
لا تكون موازية لجميع اجزائه الموجودة في الجهة الاخرى ولهذا الخلل
الناتج عن التوازي مفسدة هي ميل الاقراص بالنسبة لمحاورها وذلك
يؤدي الى تغير عينها ووجها تغيرت المحاور ايضا بسبب زيادة الاحتكاك
ولا يكون هذا الضرر يئنا متى كان العياران على بعد عظيم من بعضهما
بالنسبة لتباعد الاقراص عن بعضها على محور واحد بخلاف ما اذا قربا من
بعضهما فان الخلل الناتج عن التوازي يزداد ويحدث عنه مقاومات غير
لائقة

وفي هذه الصورة تكون منفعة الاقراص الموضوعة على محور واحد دون
منفعة الاقراص الموضوعة في جملة واحدة على محاور مختلفة

ولكن الاقراص في الصورة الثانية تشغل من المجال اكثر مما تشغله في الصورة
الاولى فاذا كان المطلوب مثلاً رفع اجمال لزم لذلك آلة تكون فيها نقطة تعليق
العيارين مرتفعة عن المحل الذي يرتفع منه الحمل وهذا الار تقاع يكون
بالاقل قدر الطول الكلي للعيارين وربما عظم هذا الطول اذا كانت
كلتا الجمالتين محتوية على ثلاثة اقراص او اربعة وقد يعظم هذا الضرر
لا سيما اذا وصلنا الى اعلى طبقات المنزل وكان المطلوب رفع الاجار اليها ويعد على
الميكانيكي أن يختار من النوعين ما تقتضيه الاحوال

فاذا كان الغرض من العيارات التوصل بها الى ظهور مقاومة كبيرة على
قوة صغيرة وعلبتها لها لزم أن يكون لها حبال كبيرة فذلك تقطع لقوة
اقل كبيرة حتى تقطع لتقاومة مسافة صغيرة وهذا هو التعديل العام الذي
هو كناية عن قاعدة تستنبط من تحريك سائر الآلات

* (بيان التثاقل في البكرات) *

إذا اعتبرنا البكرات اجساماً ثقيلة وأريد تحصيل مقدار الجهد الواقع على نقطة $\overline{خ}$ الثابتة (شكل ٥) المتعلق بها البكرة المفروض تحركها في الفراغ بلامعارض فإنه يلزم اخذ المحصلة العمومية لقوة $\overline{ح}$ ومقاومة $\overline{و}$ وتقل جبل $\overline{ح}$ $\overline{ابخ}$ والبكرة بتمامها فإذا كانت $\overline{م}$ هي ثقل البكرة بتمامها و $\overline{د}$ ثقل الجبل حدث أربع قوى وهي $\overline{م}$ و $\overline{د}$ و $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ تكون محصلتها مساوية ومضادة لمقاومة $\overline{و}$ لاجل حصول التوازن ثم إذا لاحظنا ما يترحول $\overline{ث}$ الذي هو محور البكرة وجدنا هذا المحور يتصل أولاً بجهد $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ وثانياً ثقل قرص البكرة وثالثاً ثقل جبلي $\overline{ح}$ $\overline{ا}$ و $\overline{بخ}$ في صورة ما إذا كانت القوة تؤثر من أعلى إلى الأسفل كما في شكل ٤، وحيث إذا كان $\overline{م}$ هو ثقل القرص الذي يكون مركزه في $\overline{ث}$ لم أن يكون لقوى $\overline{م}$ و $\overline{د}$ و $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ محصلة كلية مارة بمحور $\overline{ث}$ ومساوية للضغط الحاصل من القرص على المحور

ومما يسهل مشاهدته أن ثقل القرص لا يغير شيئاً من نسب $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ بالنظر للتوازن لكن كلما كان هذا الثقل عظيماً كان متعباً للمحور ونشأ عنه احتكاكاً كان فيلزم أن يكون ثقل القرص صغيراً مهماً يمكن متى كان القرض أو البكرة تؤثر تأثيراً عظيماً ما يمكن وأما الجبل (شكل ٤) فإنه في صورة ما إذا كان ثقله عموداً على المحور يكون حل هذا المحور قليلاً بقدر ما يكون ذلك الجبل خفيفاً وما ذكرناه في هذا الشأن له أهمية عظيمة في استعمال الجبال والبكرات في جوانب السفن وإذا قطعنا النظر عما يتحصل من الوفرة العظيم في كمية ما يستعمل من المواد في أقراص البكرات والجبال المارة بها يلزم لقلبها

المقاومة والظهور عليها بقوة اصغر منها أن تكون الحبال والاقراص خفيفة جدا

واذا كان المطلوب عمل اقراص معدنية خفيفة جدا لزم مزيد الاهتمام في تجويزها من بين الخلق والمهور بواسطة تصاليب متفرقة كتصاليب عملات العربات وافواصل رقيقة تجمع بين الخلق ومركز الدواب كما في شكل ١٣

فاذا تحركت البكرة (شكل ٥) كل الجزء الاول من القوة وهو ح موازنا لساير المقاومات والجزء الثاني منها وهو ح محز كالجبل والقرص ومقاومة ر بكمية يدل تأثيرها على جميع ما لم تقدمه مقاومات الا

ولكن هذه الكمية تقاس أولا بالمسافة التي قطعها ح وثانيا بمجموع حواصل ضرب ثقل الحبل في المسافة التي قطعها هذا الحبل في جهة طوله وثالثا بمجموع حواصل ضرب ثقل كل جزء من القرص في المسافة التي قطعها هذا الجزء حينئذ يلزم تعيين هذا الجزء الثالث

واذا قسمنا القرص الى مناطق متساوية العرض وجدنا ثقلها مناسبا بالضبط لانصاف اقطارها فاذا قطعنا قرصين متعدي السجك ومختلفي القطر كان حجم كل منهما مناسبا لمربع قطرهما واذا قسمنا هاتين الدائرتين (اعني القرصين) الى اجزاء صغيرة مجموعها على نسبة واحدة وفي اوضاع متشابهة كان مربع بعد المحور عن الاجزاء المتقابلة الموجودة في القرصين مناسبا لمربع نصفي قطرهما فاذا نصير حاصل ضرب حجم كل جزء في بعده عن المحور مناسبا لمربع القطر مضروبا في القطر قس اعني انه يكون مناسبا لمكعب قطر هذين القرصين وعلى ذلك فتكون كمية التحرك الحادثة في كل من القرصين مناسبة لمكعب قطرهما وهذا بالنظر الى سرعتهما المتزوية فاذا زادت تلك النسبة كثيرا مع قطر القرصين لزم جعل الاقراص في البكرات الكبيرة صغيرة الحجم ما أمكن وهذه الغائفة يمكن تحصيلها من استعمال الحبال التي ليس لها بالنظر الى قوة مفروضة الا قطر صغير قليلا لمزيد جودتها وبالجملة فيمكن أن يكون عرض

القرص اقل من قطر الجبال لثلاثي تلك الجبال من احتكاكها بجوانب
الثقب الذي هو محل القرص في صندوق البكرة

فإذا استعملنا من الجبال ما لا مقاومة له اصلا عند الاثناء على حلق البكرة
فكلما كان قطر القرص صغيرا قل أن توجد قوة معدومة لاجل الظهور
على ان يرسى هذا القرص عند تحريك القوة للمقاومة غير أن شدة الجبال مقاومة
عظيمة يلزم الاهتمام بتقويمها ومعرفة مقدارها

وسيا في أن كلب الذي هو من مشاهير علماء الطبيعة عين المقاومة التي
تعرض لتحريك البكرات من شدة الجبال

ثم ان شوجية ١١ (شكل ١٤) تجعل أولا سطح ح ح الكبير
بواسطة جبل الاختبار وهو ث ث الذي يدور مرتبة من جهتي المين
والشمال على ملف ب ب المتحرك وتعمل ثانيا سطح خ الصغير
بواسطة جبل ث ث الصغير الذي يدور مرتين او ثلاثا على ملف ب ب
في جهة مقابلة لجهة ث ث وينبغي الاهتمام بمنع الجبال عن عماسة
بعضها ليحصل التأثير على وجه سهل

وقد يميل ملف ب ب الى الهبوط بسبب التأثير الناشئ أولا عن ثقله
الاصلي مع ذراع رافعة يساوي نصف قطر ذلك الملف وثانيا عن ثقل سطح
خ مع ذراع رافعة يساوي قطر الملف المذكور فيمكن حينئذ اضافة نصف
ثقل الملف الى ثقل خ لاجل تحصيل قوة واحدة تؤثر بواسطة ذراع
رافعة يساوي قطر الملف فإذا كان ثقل الملف كبيرا نقص تأثيره بثقل ح
المربوط في طرف جبل ث ث المار بكرة الردوي ر وكل وحدة من
ثقل ح توازن وحدتين من ثقل الملف

وقبل اختبار جبل ث ث المراد قياس شدة يرتقي حتى يكون تقريرا
كالجبال المستعملة عادة في الآلات وتترجميل ث ث من فوق حلق
البكرة وتربط في احد طرفيه ثقلا كافيا ثم يشد اناس طرفه الاخر فيرفعون

هذا الثقل او يخففونه فبذلك يزول ما يوجد من الخلل في شد الحبال الجديدة التي تمنع من حصول النتائج المطلوبة

فاذا احترسنا بهذه الاحتراسات في منع الخلل عرفنا ثقل خ الذي لا بد منه لهبوط ملف ب ب والنظر بمقاومة جبل ث ث ورأينا أنه بواسطة شدة عظيمة تكون تقريبا القوة اللازمة لثني الحبال على الاسطوانات المختلفة القطر أولا على نسبة مطردة بالنظر لشدة الحبال ومنعكسة بالنظر لقطر الملفات وثانيا تكون على نسبة مطردة بالنظر لربع قطر الحبال وهذه النسبة تقرب من الصحة بقدر غلط الحبال

(والمقاومة الحادثة عن شد الحبال مركبة من جزئين احدهما ثابت والاخر اخذ في الزيادة بالنسبة للعمل ولا يمكن أن تكون الكمية الثابتة منسوبة الى الی الدرجات المختلفة التي تكون لشد الحبال والتواءها العارض لها عند عملها ويكون كل من فروع الحبل مشدودا بقوة على حدة ومحافظا على درجة شدة عند التواء هذا الحبل لان تلك القروح المتلاصقة والمتعشقة ببعضها متماسكة بالاحتكاك وعلى ذلك فكل فرع من حبل مربوط به ثقل يكون مشدودا بنسبة تلائم ما يخصه من الثقل وما يعرض له من الالتواء عند ثني الحبل لكن اذا كانت القوى اللازمة لثني الحبل مناسبة للشدود كانت تلك القوى مناسبة لكمية ثابتة زيادة على الثقل المربوط بالحبل وهذه الكمية ثابتة تتغير مع درجة الشد والالتواء العارضين للحبال عند عملها واما الحبال الجديدة المقتولة ثلاث مرات فتكون فيها تلك الكمية تابعة مع الضبط الكافي لنسبة مربعات اقطار الحبال فاذا استعملت الحبال زمنا طويلا ارتخت فروعها وتناقصت فيها الكمية الثابتة الناشئة عن شدّها الاصلی)

واذا قابلنا مقاومات القطن بمقاومات الحبال الصغيرة وجدناها اقل مما تدل عليه نسبة المربعات وذلك أن قطر البت المركزي يتزايد في الحبال الغليظة بدون أن تزيد المقاومة بنسبة واحدة عند الانثناء وحيث أن في القطن الغليظة أن تكون جميع الفروع مشدودة مع التساوى كالحبال الرفيعة لان الحبال

للمشودة كثيرا هي التي تقاوم كثيرا بغيرها من الجبال فانها تليق بمجرى
فيها من غير جهود

ويلاحظ تعيين التأثير الذي يعرض لشدة الجبال حين يطوبتها وثم لشغال كثيرة
لا سيما ما كان منها متوقفا على شدة الهواء كسير السفن والامطار وامواج البحر
وغير ذلك تبين فيها الجبال وتغير طبيعتها بحيث تكون على حالة تباين
بالكلية حالتها وهي جافة

ويرى بمجرى النظر ان شدة الجبال لا سيما اذا كانت غليظة يزيد زيادة بينة
حتى كانت مبلوطة بالماء وترى في شكل ١٤ صورة الآلة التي تدل على ان
هذا الزيادة تقاس بكمية ثابتة مهما كان الجبل الذي تعمله الجبال

وتدعمت بقاوس كلب الاولى في الجبال البيضاء وعلى غير الاولى منها
في الجبال المتقطرة (اي المدهونة بالقطران) فوجد انه يلزم في هذين النوعين
مهما كان الشدة اضافة كمية ثابتة الى الجهود التي لا بد منها في شدة الجبل
المفروض انه ابيض جاف وليس بينهما كبير فرق كما قد يتوهم وذلك لان شدة
الجبال المتقطرة لا يفوق على شدة الجبال البيضاء الا بقدر $\frac{1}{4}$

ومثل هذا الفرق مهم جدا لشهرته في العمليات وقد تستعمل الجبال البيضاء
اذا اقتضى الحال استعمالها في البكرات والطناير ولو كانت بذلك عرضة
لشدة الهواء فحينئذ تصمد بمشأعها في القوى المحركة من فوقها جرة الشغالين
يعادل لم يصرف فيها حين تبلى سرعا

وقد دلت التجربة على ان الجبل القديم المتقرون يكون شدة كشد الجبل الجديد
المتقرون تقريبا ثم وان كانت خيوط القنب يقل اشتدادها عند البلا الا ان
تعرضها للهواء والمطر بمجد القطران فيعادل تأثيرها تأثير الجبل جديدة

وقد ذكر كلب قواعد حماية سهلة تتعلق بتطبيق ما استنبطه من النتائج
على تقويم المقاومة وتقديرها عند انشاء الجبال المتنوعة على الاسطوانات
او البكرات المعلومة الاقطار لكون شدوها معلومة ايضا واذا اردت الوقوف
على هذا التطبيق فطلي بكاتب هذا العالم الشهير

وقد عملت تجارب الجبال المقطرة في فصل الشتاء حين كان ترمومتر ويومرو
من ارتفاع الانجماد بخمس درجات اوسمة فظهر أن الجليد يزيد في شدة هذه
الجبال لاسيما اذا كانت حطية القطر وقد عملت ايضا تجربة الجبل المقطرون
المؤلف من ١٥ فرما حين كان الترمومتر منخفضا عن الانجماد بارب
درجات فوجد أنه يستلزم قوة اكبر (بسدس تقريبا) مما اذا كان الترمومتر
من ارتفاع الانجماد بست درجات الا أن هذه الزيادة ليست تابعة لنسبة
الاجمال لان الجزء الثابت من المقاومة في هذه الصورة هو الذي يزيد زيادة
بينة

وهذه نتائج تتعلق بسائر التجارب السابقة وهو انه متى كانت الجبال مثقلة
بأقال ورفض ملف **ب ب** (شكل ١٤) بأن ادبر بقوة الذراع ثم خلى
وتنفس فقط في الحال قل شد الجبل بحيث يكون على الثلث مما في تلك
التجارب وهذا عام في سائر الجبال سواء كانت يضاء او مقطرة قديمة او جديدة
غير أنه في الغليظة والجديدة يكون الظاهر مما في البالية والرفيعة وكذلك يكون
الظهور في المقاطع الصغيرة من الكبيرة لكن اذا تركا تلك الجبال ساكنة مدة من
الزمن ورفضنا الملف من غير أن ننقصه وجدنا شد الجبل يزيد زيادة بينة لكن
لا يصل الى الحد الذي حدده **ك ك** في تجاربه الا بعد أن يسكن ٥ دقائق
او ٦ وعليه ففي التحرك المتعدد الذي تكون فيه القوى معدة لرفع النقل
ونقصه كما في تأثير آلات الدق المعدة لرفع الكبس او النامردان المستعمل
لدق الحواير في الارض يكون شد الجبل اقل مما في التجارب المتقدمة
ومن هذا القبيل الجبل الذي يمر بركتين متجاورتين * ولكيلا يكون التحرك
سريعا يلزم أن تكون القوة المستعملة في الظفر بشد الجبل عند التواءه على
البكرة الثانية دون القوة المستعملة في ثيه على البكرة الاولى وان كانت درجتها
واحدة بالنظر للشد

ويؤخذ من التنبيه المذكور أن الاجراء المتبينة تاخذ في الاستقامة مع البطي
وأن الشد كبيرا كان او صغيرا يكون على حسب هذه الاستقامة

وزيادة على ذلك يلزم العمل بمقتضى هذا التنبيه في حساب آلات الجحارة البسيطة التحرك بطأ كافيًا والتي يكراتها دائمًا على مسافات كافية من بعضها ليكون كل جزء من أجزاء الجبل عند مروره من بكر إلى آخر مستوفيا للزمن الذي يستكمل فيه شدة وعلى ذلك فلا بد في تقويم الآلات غالبًا من حساب المقاومات بالنظر للحالة التي تقصر بالقوى المحركة

ثم إن الحواصل المكتسبة من الآلة المرسومة في شكل ١٥ ثبتت الحواصل المكتسبة من الآلة المرسومة في شكل ١٤

وذلك اتنا وضعنا مقلاتي $\overline{ط ط}$ و $\overline{ط ط}$ الحاملتين للوحى $\overline{د د}$ و $\overline{د د}$ ووضعنا ايضا للوحى $\overline{م م}$ و $\overline{م م}$ الغليظتين في موضع ضيق وجعلنا اعلاهما اقبيا واصلحنا ماصلا تاما فكان بينهما فرجة طولية

ولم نزل نضع بالتوالي ملفات متنوعة على قاعدتين من البلوط حتى صار محور هذه الملفات (شكل ١٥) عموديا على هاتين القاعدتين اللتين اطرافهما مستديرة وحيث انهما على غاية من التساوى علقنا في طرفي الملف اقبالا قدرها ٢٥ كيلو غراما بخيوط من الدبارة اللينة التي تبلغ دورتها ٤ ميليمترات ونصف ولا يبلغ شداها جزءا من واحد من ثلاثين من شدة الجبل المركب من ٦ فروع وقد تحصل ضغط معين على القاعدتين بواسطة عدة خيوط من الدبارة الموزعة على الملفات كل منها يحمل ثقلا يبلغ ٢٥ كيلو غراما في طرف كل ملف من تلك الملفات وبواسطة ثقل صغير يعلق بالتعاقب في جهتي الملف تختبر القوة التي تحرك هذا الملف تحريكاً مستمرا غير محسوس او تظفر أولا

بشد جبل $\overline{ث ث}$ وثانياً باحتكاك الاسطوانة

وشدة الجبل دائما على نسبة منعكسة من قطر الاسطوانة

واما احتكاك الاسطوانة $\overline{ب ب}$ الحاصل على مستواقي فهو على نسبة مطردة بالنظر للانضغاطات ومنعكسة بالنظر للقطر فعلى ذلك كلما كان قطر الاسطوانة التي لها ثقل واحد كبيرا كانت مقاومة الاحتكاك صغيرة

ومثل ذلك واضح غالباً ويجوز يكثر في اشغال الزراعة استعمال الاسطوانات التي
يداس بها على الاراضي للزراعة لتكسير ما فيها من المدرو وتفتيته ودرس
الحشائش التي عليها حتى تصير رقيقة ومساوية لحجم الارض ولا بمن تقصص
مقاومة الاحتكاك بقدر الامكان بحيث يمكن للفرس الواحد أن يجتري دون
مشقة اسطوانة طويلة او قصيرة وهذا جار في انكلترا فترى الانكليز
يستعملون اسطوانات مجوفة من الحديد الصلب بامعة بين الصلابة والخفة وكبر
القطر وحيث انه في الاسطوانات المتساوية الحجم يكون مقدار انحراف الجوف
منها اكبر من مقدار انحراف المسطحة فان القوة المكتسبة من الاسطوانة تتغير
في احدى النسب واصغرهما بالموانع التي يلزم أن تقاومها الاسطوانة وتقلعها
ويجري مثل ذلك في استعمال الجلات في النقل على اختلاف انواعه

وحيث انتهى الكلام على الاحوال الاصلية المتعلقة بتوازن البكرات
المستعمل كل منها على حدة او مع بعضها بطرق مختلفة فاسب أن تقتصر على
طرق صناعة هذه الآلات فنقول ان عمل البكرات من اهم فروع الصناعة
لا سيما عند البحارة وله كيفية مخصوصة ويطلق اسم البكراتية على صناع
هذه الآلات

ولم تعرض في كتابنا هذا لذكر البكرات المعدنية التي تصنع اجزائها الاصلية
بضوابط مخصوصة معينة مع الاهتمام بمصنوعة على منوال الاشياء التي
يصنعها البحارون مع الضبط والاحكام ومسبوكة من الحديد والنحاس
ومشغولة على حسب قواعد صحيحة مضبوطة بل اقتصرنا على بيان صناعة
البكرات الخشبية من الخشب ولنذكر ذلك فنقول

تصنع بكرات الخشب بعمل قرصها بالشار والمحرطة وصندوقها بالآلات القطع
الشبيهة بالآلات الخبار وصانع القباقيب وقد يصنع بالآلات اخرى صناعة
مفيدة وهو مركب من اربعة وجوه كل اثنين منها موازيان لمستوي التماثل
الذين احدهما مواز لمستويات الاقراص والاخر عمود عليهما
وقد اخترع برونيل الميكانيكي وهو من علماء القرنسوية لاجل عمل الوجوه

المدكورة كاجزاء الاسطوانة المستديرة طريقة بديعة في صناعة ذلك وهي أن
تثبت على محيط عجلة كبيرة قطعة من الخشب مجوفة بحجوها مربعة وملازمة
للبكرات المطلوبة في الطول والعرض والسمك وبعد تثبيت تلك القطع على المحيط
المدكور تبيتنا جيداً ندير ذلك المحيط على وجه بحيث يكون محور كمنقطعاً
ثم نصنع الوجه الخارج لكل قطعة ويكون كل وجه من هذه الوجوه على
شكل قوس اسطوانة قائمة مستديرة محورها هو عين محور العجلة وبعد ذلك ندير
من الزاويتين القائمتين كل قطعة من قطع الخشب بحيث تصير وجوهاها
الخارجية داخلية بالنسبة للدائرة التي تحملها ثم نحرك العجلة الكبيرة ونصنع
وجوه القطع التي صارت خارجية ثم نأخذ هذه القطع ونضعها على عجلة
جديدة قاطرها موافق وعند ذلك نصنع في كل صندوق الوجهين اللذين لم يصنعا
وتكون صناعتها على شكل قوس اسطوانة مستديرة تقسم قطرها مابين
لنصف قطر الاسطوانة السابقة وتكون ملائمة لصورة الصندوق
فتكون القوة المحركة على طريقة بروينل حادثة من آلة بخارية وقد تكون
حادثة من دوران الخليل او من قوة الماء او من قوة الناس والمطلوب لنا هنا هو
تفاصيل العجلة وتحركها المستدير

وهناك صناعة اخرى لا بد منها وهو عمل الثقوب ذات الوجوه المستوية التي
يوضع في كل منها قرص بكرة وهذه الصناعة انا حصلت بالكيفية المعتادة
بالمطرقة والمقراض كانت بطيئة صعبة بخلاف ما اذا كانت بمنقأب تثبت به
في طرف من اطراف الاقراص تثبت اسطوانا في جهة محل القرص يكون
قطره مساوياً بالعرض هذا المحل ثم نشر بمنشار رفيع جداً داخل في هذا الثقب
من جهتي الجين والشمال جراً من الخشب المراد انزاله لاجل عمل محل القرص
فانها بهذه الطريقة تكون سهلة

ولامانع من أن نستعمل في ذلك مقراضا يكون له بواسطة قوة مستمرة
تحرك متردد وهذه الطريقة هي التي اختارها العالم هوويرت احد مهندسي
البحارة

فإذا كانت البكرات تحصل انضغاطا عظيما فان الضغط الذي يقع على محورها من قرص البكرة يكون قويا وينشأ عن ذلك من جهة أن هذا المحور ينزوي وتغير صورته ومن أخرى أن الثقب المصنوع في قرص البكرة لاجل مرور المحور منه يتسع اتساعا غير متساو ما لم تكن قوة القرص واحدة في سائر الجهات وبغضم هذا النخل في البكرات التي تكون محاورها واقراصها متخذة من الخشب ولو كانت المحاور من خشب صلب كالخشب الأخضر والاقراص من خشب آخر يعادله كخشب الانبياء

والاولى استعمال الجواهر المعدنية في المحاور والاقراص وقد علمت اقراص من حديد السبك شهيرة بمتانتها وتواصل اجزائها ويستحسن عادة أن تكون المحاور من الحديد والاقراص من الخشب وأن يحيط بمراكزها حلقة من النحاس بها فتحة مستديرة قطرها منطبق على قطر المحور انطباقا تاما

ثم ان فن تجويف الاقراص المتخذة من الخشب لاجل وضع القمة من نحاس فيها هو من الاعمال الدقيقة اللطيفة التي يمكن اجرائها على وجه تام بطرق ميكانيكية منتظمة كما يمكن عملها باليد وفي طريقة آلة برويل المتعلقة بصناعة البكرات كيفيات عظيمة في عمل القمة وتجويف محل في القرص لاجل ادخال القمة فيه

وينبغي أن يكون وضع لقم البكرات في التجويف المعد لها على غاية من الاحكام ثم يهتم بلصقها به بحيث تكون ملتصقة به اتصالا جيدا ولا يشترط أن تكون هذه القم متتقة في الصورة وانما يلزم أن تكون صورتها مبادئة بالكلية لصورة الدائرة ليحصل منها نهاية ما يمكن من المقاومة عند الدوران في القرص لان القمة اذا دارت بهذه المثابة يعدم تحركها الصلاب الناشئة عن احكام وضعها و ثم لقم مربعة واخرى مثلثة ولقم برويل على شكل زهر الربة مربعة من ثلاث دوائر مراكزها على بعد واحد من بعضها

(الدرس العاشر)

(في بيان التجنيق والطارات المضرسة)

المنجنيق (شكل ١) مركب من اسطوانة كلسطوانة $\overline{أب ش د}$ وطارة مستديرة كطارة $\overline{هـ ف}$ ولهما محور واحد وهما مثبتان ببعضهما بحيث لا تدور الطارة بدون أن تجنب الاسطوانة عند تحركها وهذه الاسطوانة يحملها طرفا المحور وهما $\overline{م}$ و $\overline{ن}$ اللذان يدوران في ثقيين مستديرين على مسندين ثابتين وعلى تلك الاسطوانة يلتف جبل مثبت من احد طرفيه ومربوط في طرفه الآخر مقاومة كمقاومة $\overline{ر}$ فتكون قوة $\overline{ح}$ حيثند واقعة على محيط الطارة

وفي هذه الآلة يسهل معرفة النسبة الحاصلة بين القوة والمقاومة لانه يلزم لاجل دوران الاسطوانة على محورها أن يكون مقدار مقاومة $\overline{ر}$ مساويا للمقاومة نفسها مضروبة في نصف قطر الاسطوانة

ويلزم لاجل دوران الطارة أن يكون مقدار قوة $\overline{ح}$ مساويا لتلك القوة نفسها مضروبة في نصف قطر الطارة

ولاجل حصول التوازن يلزم امران الاول أن يكون المقداران المذكوران مؤثرين في جهتين متضادتين والثاني أن يكونا متساويين وهذا هو السبب في اهتمامهم دائما بإدارة طارة $\overline{هـ ف}$ في جهة مضادة لاتجاه مقاومة $\overline{ر}$ التي يراد الظفر بها

ولنفرض الآن أن المطلوب تعيين الضغطين الحاصلين على $\overline{م}$ و $\overline{ن}$ اللذين هما طرفا المحور واصبع الاسطوانة

فاذا كانت قوة $\overline{ح}$ مارة بمحور الاسطوانة وكانت قسما $\overline{م}$ و $\overline{ن}$ موجودتين في مستوى هذه القوة أمكن بدون واسطة تحليل قوة $\overline{ح}$ الى قوتين موازيتين لها ومائتين بنقطتي $\overline{م}$ و $\overline{ن}$ على التناظر .

فاذا لم تكن قوة $\overline{ح}$ مارة بمحور الطارة فلا مانع من تحليلها كما تقدم (في الدرس الخامس شكل ١٦) وهذا بالنظر الى قوة $\overline{أ س}$ التي لم تتر بمركز ثقل الجسم الذي حرركه

فلتفرض اذن عوضا عن قوة $\overline{ح}$ أولا قوة $\overline{ح}$ المساوية والموازية لها
والمارة بنقطة $\overline{و}$ التي هي مركز الطارة وثانيا قوتين مساويتين $\frac{1}{2} \overline{ح}$
ومتجهتين على وجه بحيث يديران الطارة في جهة واحدة ويؤثران في طرفي
قطرها ولما كان تأثير هاتين القوتين اتما هو لاجل دوران الطارة على مركزها
بدون أن ينفذ ذلك المركز الى اى جهة كانت ليدفعها ايضا مسندى $\overline{م}$ و $\overline{ن}$
الى اى جهة كانت

فليقتضى يكون ضغطا $\overline{ح}$ و $\overline{ح}$ الحاصلان على مسندى $\overline{م}$ و $\overline{ن}$
حادثين من قوة $\overline{ح}$ المساوية والموازية لقوة $\overline{ح}$ والمؤثرة في نقطة $\overline{و}$
التي هي مركز الطارة تأثيرا يكون على مستقيم واحد مع هذين المسندين
فاذن تحدث هاتان المعادلتان وهما

$$\overline{ح} = \overline{ح} + \overline{ح} \text{ و } \overline{ح} \times \overline{م} = \overline{ح} \times \overline{ن}$$

$$\text{او } \overline{ح} \times \overline{م} = \overline{ح} \times \overline{م} \text{ و } \overline{ح} \times \overline{م} = \overline{ح} \times \overline{ن}$$

وبمثل ذلك يبرهن على أن مقاومة $\overline{ر}$ تحدث على مسندى $\overline{م}$ و $\overline{ن}$
تغطى $\overline{ر}$ و $\overline{ر}$ بحيث تحدث هاتان المعادلتان وهما

$$\overline{ر} = \overline{ر} + \overline{ر} \text{ و } \overline{ر} \times \overline{م} = \overline{ر} \times \overline{ن}$$

$$\text{او } \overline{ر} \times \overline{م} = \overline{ر} \times \overline{م} \text{ و } \overline{ر} \times \overline{م} = \overline{ر} \times \overline{ن}$$

وسرى $\overline{س}$ هنا بدل على النقطة التي يكون فيها الاتجاه مقاومة $\overline{ر}$ ساقطا
سقوطا عموديا على محور الاسطوانة
ويؤخذ من هذه المعادلات مباشرة أن

$$\overline{ح} = \frac{\overline{ح} \times \overline{م}}{\overline{م}} = \frac{\overline{ح} \times \overline{ن}}{\overline{ن}} \text{ و } \overline{ر} = \frac{\overline{ر} \times \overline{م}}{\overline{م}} = \frac{\overline{ر} \times \overline{ن}}{\overline{ن}}$$

وهذه مقادير بسيطة سهلة الحساب

فاذا كانت قوتا $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ مارتين بنقطة $\overline{م}$ وقوتا $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$

مارتين نقطة $\overline{ن}$ سهل تحصيل محصلتها وهي الضغط الكلي الحاصل على مسندى $\overline{م}$ و $\overline{ن}$ من القوة والمقاومة

ثم ان اسهل الصور في هذا المعنى واعما هو ما كانت فيه قوة $\overline{ح}$ موازية لمقاومة $\overline{ر}$ فعلى ذلك تكون $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ و $\overline{خ}$ و $\overline{ز}$ متوازية ايضا وتكون محصلة $\overline{ح}$ و $\overline{ز}$ هي $\overline{ح} + \overline{ز}$ ومحصلة $\overline{خ}$ و $\overline{ز}$ هي $\overline{خ} + \overline{ز}$ وهذه هي الصورة التي يقع فيها على المسندين اعظم ضغط يمكن بالنظر لتقارير من مفروضين للقوة والمقاومة

فاذا لم تكن القوة والمقاومة متوازيتين فان $\overline{ح}$ و $\overline{ز}$ و $\overline{خ}$ و $\overline{ز}$ لا تكون ايضا متوازية ابدافته تكون $\overline{م}$ هي محصلة $\overline{ح}$ و $\overline{ز}$

و $\overline{ن}$ هي محصلة $\overline{خ}$ و $\overline{ز}$ وذلك بواسطة متوازي الاضلاع للقوى الميمنة بمستقيمتين $\overline{م}$ و $\overline{ن}$ و $\overline{خ}$ و $\overline{ز}$

وحيث كانت القوة دائما واقعة على مستوى الطارة فان الضغط الحاصل منها للمسندين يبقى على حاله لا يتغير لكن اذا كانت المقاومة حاصلة في طرف الحبل الذي يلف او فشر تدريجا بحيث يتكون منه حارون على اسطوانه المنجنيق فان تلك المقاومة تنقل تارة الى احد المسندين واخرى الى الاخر وبذلك يزداد الضغط الحاصل على المسند الاول لينقص الضغط الحاصل على الثاني وهذا بحسب النسب المتقدمة وحيث ان كانت المقاومة مجاورة بالكلية لاحد المسندين فانها تحدث عليه ضغطا يكاد يكون مساويا لقوته الكلي بجزء من الضغط الحاصل على المسند الاخر فانه يكاد يكون معدوما متى كانت المقاومة على بعد واحد من المسندين صار الضغطان متساويين

هذا ويلزم على المنجنيق على وجه بحيث تكون صلابته كافية لان يقاوم مسنده اعظم ضغط يمكن

ثم ان المنجنيق كغيره من الآلات المتقدمة التي اختبرنا تأثيرها يقطع فيه النظر

عن ثقل الآلة ويقطع النظر أيضا عن قطر الحبل المقروض أنه صغير جدًا
والاوجب أن تكون قوة $\overline{ح}$ ومقاومة $\overline{ر}$ واقعتين على اتجاها محوور الحبل وبناء
على ذلك يضاف الى قطرى الاسطوانة والطارئة نصف قطر الحبل المستعمل
وبالجمله ففى اثر قوة $\overline{ح}$ (شكل ٢) على حبل $\overline{ا ب ح}$ الذى له
سمك معين وشدت جميع اجزائه بالسوية فان هذا الحبل يكون مستدير او تكون
محصلة سائر المجهودات الحاصلة فى كل جزء على كل فرع من الحبل مارة بمركز
هذا الحبل واذن يمكن أن تعتبر قوة $\overline{ح}$ المحالة لاجل الثانى فى جميع فروع
الحبل كأنها واقعة على محور الحبل المذكور وحينئذ يكون مقدار هذه القوة
مساويا $(\overline{ث} + \overline{ا}) \times \overline{ح}$ اعنى أنه يكون مساويا لنصف قطر
الطارئة زائدا نصف قطر الحبل مضروبا فى القوة

فاذا اعتبرنا الآن تأثير حبل $\overline{س ر}$ المشدود من احد طرفيه بمقاومة $\overline{ر}$
والمقفوف من الطرف الاخر على اسطوانة $\overline{ث}$ ظهر لنا بهذين الامرين
أن تأثير قوة $\overline{ر}$ الحاصل على الاسطوانة هو كناية عن مقدار $(\overline{ث} + \overline{س})$
مضروبا فى المقاومة المؤثرة فى هذا الحبل

وعلى ذلك ففى التخييق الذى نصف قطر طارته $\overline{ث ا}$ ونصف قطر اسطوانته
 $\overline{ث س}$ ونصف قطر حبله المشدود بقوة $\overline{ح}$ المؤثرة فى الطارة $\overline{ا ا}$
ونصف قطر حبله المشدود بقوة $\overline{ر}$ المؤثرة فى الاسطوانة $\overline{س س}$
يكون شرط التوازن هو مساواة حاصل ضرب القوة فى مجموع نصفي قطرى
الطارئة والحبل المشدود بهذه القوة لحاصل ضرب المقاومة فى مجموع نصفي
قطرى الاسطوانة والحبل الذى يشده هذه المقاومة

فاذا كان المطلوب أن القوة او المقاومة تقطع مسافات كبيرة لم يكف فى ذلك
وضع صف واحد من ادوار الحبال على الطارة بل يلزم لذلك غالبا وضع صفين
او ثلاثة ولا يخفى أن القوة فى كل صف جديد تكون متباعدة بالتدريج عن
المحورية وادوارها وقطر الحبل فى كل دور وبذلك يزداد كثيرا بعد المركز عن

اتجاه القوة ويزام الاعتناء بضبط العملية عند تقويم النسبة الحاصلة بين المقاومة والقوة في حساب موازن منجنيق واحد أو أكثر تقويم مضبوطا ثم ان غلظ الجبال لا يغير شيئا من وضع مركز الطارة بالنظر للقوة ولا من نقطة المحور التي يتوهم فيها اسقاط المحصلة لاجل التأثير على المساند فعلى ذلك لا يتغير بقلظ الجبال شيء من الضغط الحاصل على المساند

ولكن اذا تحرك المنجنيق فان غلظ الجبال يضم مقاومته الخصوصية الى سائر المقاومات ويكون كما تقدم على نسبة مطردة بالنظر للتشدد البسيطة ومربع قطر الجبال وعلى نسبة منعكسة بالنظر لقطر اسطوانة المنجنيق او طارته او نصف قطرهما ويؤخذ من ذلك انه ينبغي في استعمال المنجنيق مزيد الاهتمام بعمل جبال تكون قوتها عظيمة جدا بالنظر لقطر مفروض

ولتلاحظ ما ينشأ عن القوة والمقاومة من التأثير الظاهر الواقع على عمود المنجنيق فنقول انه بواسطة تأثير قوة $\overline{ح}$ تحريك الاسطوانة او عمود المنجنيق على الدوران في نقطة $\overline{و}$ (شكل ١) نحو $\overline{ح}$ الذي هو اتجاه تلك القوة وبواسطة تأثير مقاومة $\overline{ر}$ يجبر ذلك العمود ايضا على الدوران في $\overline{س}$ نحو $\overline{ر}$ الذي هو اتجاه تلك المقاومة المقابلة لاتجاه نقطة القوة فاذا لم يكن العمود من كذا من مادة لا تتغير فان هذين التأثيرين المتضادين يؤثران فيه كثيرا او قليلا ويلتوى التواءا مناسبا لمقدارى القوة والمقاومة

وسأني في الدرس العقود للبريعة تفصيل ما يتعلق بتأثير قوة الالتواء وصورة الخازون التي تكاد تجعل الالياف المستقيمة اسطوانات اى اعمدة نستعمل في الآلات وذلك من اهم الاشياء في متانة العمارات ومكثها

*(بيان تأثيرات التناقل في المنجنيق) *

وما اسلفناه في شأن تأثيرات التناقل في البكرات يجري ايضا في شأن التأثيرات الحاصلة على المنجنيق والطارات المضرومة

ومن القوى المعدومة ما يستعمل في الظفر باينرمى الاسطوانة والطاراة ويزام ان يضاف الى الانضغاطات الواقعة على كل محور وكل نقطة من نقط

الارتكاز الضغط الرأسى الحاصل من ثقل طارة الاسطوانة والحبال
واما الحبل الذى يلتف من طرف على اسطوانة المنجنيق او المعطاف ويربط
من الطرف الآخر بالمقاومة فانه عند التضافه على الاسطوانة يتقطع ثقله
بالتدريج عن أن يكون جزءاً من المقاومة الاصلية ويكون جزءاً من المقاومة
التي تعرض لها من الاسطوانة وبذلك يكاد يتقص في كثير من الصور المقدار
الكلى للمقاومة

ولاجل بقاء هذا المقدار الكلى على حاله دائماً يستعمل في الغالب ثقل معلق
بطرف الحبل مقابل للثقل الذى يشد المقاومة فينفرد الحبل حينئذ من جهة
الثقل بقدر ما يلتف من جهة المقاومة وبالعكس وبالجمله فالحبل يلتف دائماً
على الاسطوانة بهذا القدر وبناء على ذلك تكون النسبة الحاصلة بين القوة
والمقاومة واحدة دائماً متى صارت سرعة التحركات منتظمة

ثم ان الضغط الحاصل على المحاور ونقطة الارتكاز يعظم بقدر ثقل الاسطوانات
والطارات التي تتركب منها الآلات المستعملة فيازم اذن أن تكون اتصالاتها
صغيرة مهما امكن لكي تقص قدر الامكان المقاومات الحادثة من الآلات
وسياً في توضيح ذلك في الكلام على الاحتكاكات

وتستبدل في الغالب طارة المنجنيق بذراع رافعة تكون القوة واقعة عليه
فاذا كان هذا الذراع مستقيماً حتى قضيباً والمافويله وهى الملولى هى في العادة
رافعة منكسرة بهما قبض تكون يد الانسان عليه كلقوة (شكل ٣)

وفي الغالب يستعمل بدلا عن قرص البكرة لاجل تحريك عمود المنجنيق
طارات ذات مدرجات واخرى ذات طنابير فاما ذات المدرجات (شكل ٥)
فيصعد على مدرجاتها الغائرة في بين محيط الطارة وشماله كما يصعد على درج
سلم التسلق ويحصل التحرك اذا كان حاصل ضرب جهد ثقل الصاعد في بعد
مركز الطارة عن الخط الرأسى الممتد من ثقل ذلك الصاعد يزيد على حاصل
ضرب ثقل المقاومة في بعد محور الطارة والاسطوانة عن الخط الرأسى الممتد
من مركز ثقل تلك المقاومة

وفائدة هذا الآلة هي ان الصاعد على المدرجات يكون بعيدا ما أمكن عن الخط
الرأسي الممتد من مركز الطائرة وبناء على ذلك يعظم تأثيره بقدر الامكان
كلما فرضت الطائرة كبيرة

وهناك طارات اخرى عريضة ومجوفة في داخلها مسلك يترمنه الشغالون
المنوطون بتسيير الآلة وفي هذه الصورة كالتي قبلها تقاس النسبة الحاصلة
بين القوة والمقاومة وسيأتي في الدرس الحادى عشر المختص بالمستويات
المائلة بيان كيفية وقوع قوة الصاعدين ياناشافيا

ويكثر في بلاد الانكليز استعمال الطناير التي تقع عليها قوة الانسان بطرق
متنوعة ولنفرض طنابورة او اسطوانة كبيرة التطرف على محيطها درجات
صغيرة بارزة مثبتة على بعد واحد من بعضها موضوعة على وجه بحيث
يسهل على من تكون يدها متكئة على قضيب افقي أن يصعد عليها خطوة بخطوة
بدون احتياج الى مدد رجله مددا كبيرا ثم ان الانضاض المعدن لتحرك
الطنابورة يقفون بجانب بعضهم ويقبضون بأيديهم على القضيب الافقي المذكور
واما ارجلهم فاتهم عند ثقلها يضعونها بالتعاقب على الدرجات المزدوجة
او غير المزدوجة لتدويرها الاسطوانة وهذا الشغل المخترع للمسجونين
معدود من العقوبات الشديدة ويؤخذ من ذلك أن قوة الناس المؤثرة يمكن
أن تستعمل في تحصيل امور نافعة فانا كانت للمقاومة واقعة على محيط سهم
الطنابورة كانت نسبة المقاومة الى القوة كنسبة بعد محور الطنابورة عن الخط
الرأسي الممتد من مركز ثقل الشغالين الى نصف قطر سهم الطنابورة المذكورة
والارغاف الاقية هي آلة مركبة من اسطوانة اقنية كاسطوانة المنجنيق
ومن قضبان اورواف غائرة من احد طرفيها في ثقوب مصنوعة على محيط
الاسطوانة من جهة طرفيها واما الطرف الاخر من القضبان فانه يقع عليه
تأثير جهد ايدى الشغالين ونسبة القوة الى المقاومة هنا كنسبة نصف قطر
السهم زائدا نصف قطر الحبل الذي تربط به المقايضة الى بعد المحور عن النقطة
التي يقع عليها تأثير ايدى الشغالين

ولامانع من استعمال الآلة المذكورة في جوانب السفن وتستعمل ايضا في عربات النقل الضيقة الطويلة المعروفة بالكاميون وفي هذه العربات يوضع سهم آلة الارغات امام الجملات ويكون الحبلان المثقان على السهم المربوطان من طرفيهما في النهاية الخارجية من العربية موضوعين فوق البضائع فاذا كان تأثير الجهد حاصلًا بواسطة قضبان الآلة المذكورة لاجل لف الحبلين كثيرا فانهما يجيران على أن يكونا دائما في مسافة صغيرة وعلى ضم البضائع لبعضها وحزمها بحيث لا يمكن وقوعها بالتأثير الناشئ عن الارتجاج ويكثر استعمال المنجنيق وآلة الارغات في الصناعة قترى يبلاد انكلترة على واجهات المخازن الكبيرة المعدة لتجارة خيوطا رأسية لاجل اسناد السبايك وترى ايضا فوق واجهة السبائك الزائد عن غيره في الارتفاع بكرة ثابتة دائما في طرف الحلقة التي تكون تارة بارزة من الحائط وتارة ملصوقة به وذلك على حسب ما يراد فاذا كان المطلوب رفع بضائع او تنزيلها فانهم يربطونها في طرف حبل يمر ببكرة ثابتة ويصل الى المخازن فيلتف على سهم المنجنيق المتحرك تارة بالماوية وتارة بالجملات وحاشبه ذلك ومن المهم استعمال الآلات البسيطة لاسيما المنجنيق في تجارات فرنسا

ثم ان آلة العيار (المعدة لرفع الاجار) هي من متعلقات المنجنيق والغرض منها امران احدهما رفع الحمل او خفضه وثانيهما وضعه في محل لا يكون على الخط الرأسى المقابل لوضع الحمل الاصلى فيأخذ عمل حلقة تدور على السهم الرأسى ويكون في طرفها الاعلى قرص بكرة ثابتة وفي طرفها الاسفل سهم المنجنيق و آلة الارغات المتحركة بأحدى الطرق السابقة اعنى القضبان او الطناوير فاذا اقتضى الحال اخراج ما في السفن من البضائع ووضعها على الرصيف وكان العيار موضوعا على طرف ذلك الرصيف القريب من السفن فأتى اندر حلقة العيار الى النقطة التي يكون فيها القرص الثابت في الذراع الاعلى من الحلقة موضوعا رأسيا على قطرها السفينة (المعروفة عند الملاحين بالكويرته) التي يراد تفريقها وتربط البضاعة في طرف الحبل الذي يمر بالبكرة

الثابتة ويلتف على اسطوانة المنجنيق ثم توجه تأثير القوة المعدة لتحريك هذا المنجنيق الى الجهة اللازمة لرفع الحمل فانما وصل هذا الحمل الى الارتفاع اللازم ابطلنا دوران المنجنيق وندير الحلقة على سهمه حتى تصل الى النقطة التي يكون فيها الحمل المعلق في تلك الحلقة موضوعا رأسيا على الرصيف فيخيل أن يقع على القوة تأثير المقاومة ويبطل الحمل بواسطة تأثير ثقله حتى يصل الى الرصيف او العربة التي تكون مسامطة لهذا الحمل ثم ان اغلب العيارات يتحرك بواسطة قوة البشر ومنها ما يتحرك بقوة البخار وقد ذكرنا من هذه الالات ما هو اكثر استعمالا في الجزء الثالث من رحلتنا الى بلاد ابريطانيا الكبرى (قوة تجارية داخلية) وذكرنا ايضا تلك الالات امثلة عديدة مع ما يلزم لها من الاشكال الهندسية وهي قليلة الحجم كثيرة الصلابة لكون جميع اجزائها من الحديد

ولا بد في عمل العيارات مع الضبط أن يكون صانعها العايد الطولي في الهندسة والميكانيكا حتى يجعل لاجزائها المتنوعة اشكالا تناسبات تنفع جدا في ضبط الحركات وتلطيفها ولا بد ايضا أن تكون الاجزاء المنحرفة من العيار خفيفة بقدر الامكان وأن تكون صلبة على حسب ما تقتضيه الضرورة لان قوة اينرسي الاجزاء الثقيلة جدا تستلزم في نظير ما ينعدم منها جهدا يترتب عليه توفيرها وما ذكرناه سابقا من القواعد وما سنذكر منها في هذا الجزء له شواهد واضحة في صناعة العيار وغيره من سائر الالات التي هي من قبيل المنجنيق

ومن الالات الشبيهة بالمنجنيق اكثر رفع الاشكال المعروفة بالعيوق وهي مركبة من سهم افقي موضوع قريبا من قاعدة المثلث الحادث من عارضة انصية وقائمين مائلين ومن بكرة مثبتة في الرأس الذي يلتصق فيه القائمان ببعضهما وهذا المثلث الذي قاعدته على الارض يكون ممسكا من رأسه بساق ثالث مائل الى جهة تضاد الجهتين الاوليين فاذا كان المطلوب رفع حمل فان هذه الآلة توضع على وجه بحيث يكون الحمل بين سيقان الآلة الثلاثة ويكون احد طرفي الحبل المار بالقرص الثابت ممسكا للعمل والطرف الاخر ملتقا على سهم المنجنيق

المتمركز بواسطة القضبان او الواصلين وكثيرا ما تستعمل الآلة المذكورة في اشغال الطوبجية وقد تقدمت صورتها (في شكل ٧ من الدرس الرابع من الجزء الاول)

والمعطاف (شكل ٨) هو منجنيق محوره رأسي والقضيب او القضبان المعدة لتحريره الآلية

ويحقق التوازن في العيوق والارغاث والمعطاف متى كان حاصل ضرب القوة في طول ذراع الرافعة الواقعة على طرفه هذه القوة مساويا لحاصل ضرب المقاومة في نصف قطر الاسطوانة زائدا نصف قطر الحبل الذي تكون هذه المقاومة مربوطة به

فاذا كان هنالك عدة قضبان وعدة قوى واقعة عليها لم ضرب كل قوة في طول ذراع رافعتها واخذ مجموع هذه الحواصل وهذا المجموع هو الذي يكون مساويا لمقاومة المقاومة

وليس تأثير تناقل الآلة على تقطعي الارتكاز واحدا في المنجنيق والمعطاف اذ في المعطاف يكون السهم المعروف بالحرس رأسيا وتكون القوة والمقاومة متجهتين اتجاهاتهما اقصيا فيكون تأثيرهما على تقطعي الارتكاز ضغطا اقصيا وينشأ عن تناقل سهم المعطاف وقضبانها ضغط رأسي لاعلى المحيط المستدير المعد لدخول اصبعي السهم بل على القاعدة الموضوعة تحت ذلك السهم في اتجاه المحور وهذه القاعدة التي هي في العادة مجوفة كالطيلسان الكروي تعرف بالسكرجة

ولا يتأق في المعطاف حسبا هو مشاهد أن يكون الضغط الافقي الواقع على تقطعي الارتكاز ناشئا الاعن تأثير القوة والمقاومة لان ثقل الآلة لا يدخل له في ذلك بالكلية

ويستعمل المعطاف غالبا في الاشغال الداخلية لاجل جبر الاحمال حرا اقصيا فتترحل هذه الاحمال على الملفات الاسطوانية المخذة من الخشب او الحديد وقد تترحل على عجلات صغيرة او اكر تجرى في افاريز مجوفة وتسبب اختراع

هذه الطريقة الأخيرة انهم ارادوا نقل كتلة عظيمة عليها صورة بطرس الاكبر
في مدينة سبت بترسبورغ

ويستعمل المعطاف ايضا في القنون الحربية لاسيما في الطوبجية لاجل اجراء
اشغال هذه القوة العسكرية في الترسانات والمسكرات والمخاضرات

وكذا يستعمل مع الاهتمام في جوانب السفن لاجل اجراء ازمها واشغالها
ومضاف السفن الاكبر (شكل ٧) على صورة سهم رأسي ينقب الكوررتين
ويستقر على سكرجة موضوعة في الكوررتة المستعارة ويحيط به السهم
في احدى الكوررتات المترسطة جرس على شكل مخروط عوضا عن أن يكون
على شكل اسطوانة ولا بد أن يكون على محيط هذا الجرس عدة دوار من الحبل
المعدن لشد المقاومة ويلزم أن نوضح هنا تأثير هذه الصورة المحرورية فنقول

قد سبق أن انخطوط الحلزونية المرسومة على سطح الاسطوانة هي اقصر خطوط
يمكن رسمها بين قطبين على مثل هذا السطح وعليه فتكون القوى الواقعة
على طرفي الحبل المتثنى على صورة خط برمي حول الاسطوانة في اتجاه هذا
الخط البرمي شاذة بالضرورة للحبل المزدكور في اتجاه ذلك الخط البرمي
وفي هذا الوضع تكون القوتان المؤثرتان بمماسلة الخط البرمي مائتين بالنسبة
لاضلاع الاسطوانة او بالنسبة للمحور غير أن اتجاه القوة والمقاومة يكون
كما سبق في تعريف المنحنى والمعطاف عموديا على اتجاه الاضلاع ومحور السهم
وحيث لا تؤثر المقاومة الواقعة على الطرف الخالص من الحبل المتثنى أثناء
حازوينا على سهم المنحنى او المعطاف في اتجاه الخط الحلزوني فانه ينشأ عن تأثير
هذه القوة اختلال الحبل واضطرابه بحيث لا يبقى على الاتجاه الحلزوني الذي
كان عليه وينشأ عن تأثير المحصلة ضغط شديد يلزم الحبل المتثنى كما سبق أثناء
حازوينا على محيط السهم بحيث اذا انضم حره هذا الحبل الى بعض امتداد الخط
البرمي شيئا فشيئا حتى يصير المماس لهذا الخط البرمي في اتجاه المحصلة التي
يحصل فيها الحلل ايضا

وحيث انه يلزم في تحريك المعطاف أن تقطع المقاومة بواسطة هذه الالة مسافة

كبيرة تساوى طول قنة مثلها من الامتار عدة ما ت فاذا تصورنا ان القنة ملتفة مباشرة على جرس المعطاف لزم أن تحدث ادوارا كثيرة على نفسها وبذلك يزداد قطر الجرس وتنقص شدة القوة

ويمكن تداركه هذا الخلل بواسطة جبل غير متناه يعرف بالجبل البرمى وذلك انه يوجد في هذا الجبل على ابعاده عقد معتبرة كنقط منع ووقوف لاجل ربط القنة التي يراشد هابه فتدير هذا الجبل خمسة ادوار اوسنة دورانا حلزونيا على جرس المعطاف وكما دار المعطاف التف طرف الجبل البرمى الاسفل وانفرد طرفه الاعلى فاذا كان الجرس اسطوانيا فانه يستقر على التمركة بهذه الكيفية حتى يصل الجبل البرمى في اقرب وقت الى اسفل ذلك الجرس فيشتبك حينئذ بين الجرس وسطح كويرة السفينة او يجبر على الالتفاف من جهة مضادة لجهته ليتحصل صف آخر من الجبل الموقوف على الجهة الاولى ولكن لاتفضل أن صورة جرس المعطاف مخروطية ومجوفة من اسفلها فعلى ذلك يتحصل من تحليل القوى على ماسنذكره في شأن المستوى المائل انه كلما قوى شد الجبل البرمى بتأثير المقاومة قوى ايضا ضغط هذا الجبل لاجل رفع جزء الجبل البرمى المتبقى كما سبق اننا حلزونيا ويكفي هذا الضغط من زمن الى آخر في رفع سائر الادوار الحلزونية ودفعها الى اعلى

وهذا التأثير الاخير ينشأ ايضا عن كون جرس المعطاف بعد أن كان مخروطيا لايسهل به رفع الجبل في سائر الاوقات صار سطح دوران مجوفا من جزء المتوسط كسطح الجرس الذي اخذ منه اسمه وكلما التف الجبل على هذا الجرس وهبط الى اسفل كان على قطعة مخروطية مجوفة جدا وهذا الميل كما سيأتى في مجتئ المستوى المائل يكسب شد الجبل قوة عظيمة حتى يرفع سائر الادوار الحلزونية الحادثة على الجرس وينقلها الى الجزء الاعلى من المعطاف وبهذه الطريقة البديعة يجبر الخلل المتقدم

وبالجملة ففي الحالة التي يكون فيها الجبل البرمى عند هبوطه الى اسفل الجرس ملتقا على نفسه مع وجود صورة الجرس يتلاقى الجبل المذكور مع

وإذا قطعنا النظر عن الحدود التي يجمع بعضها بعضا فنحصل معنا

$$\frac{\text{ح} \times \text{ش} \times \text{ش} \times \text{ش}}{\text{ر} \times \text{ش} \times \text{ش} \times \text{ش}} = \frac{\text{ح}}{\text{ر}}$$

وعلى ذلك تكون نسبة القوة للمقاومة في عدة مخبئيات او معاطيف كنسبة حاصل ضرب انصاف اقطار سائر الاسهم الى حاصل ضرب انصاف اقطار جميع العجلات

فاذا اردنا أن ندخل في هذا المقدار قطر الجبال لزم أن يكون التوازن حاصل متى كان حاصل ضرب القوة في انصاف اقطار العجلات التي كل نصف قطر منها يزيد قدر نصف قطر الجبل الموقوف على العجلة المقابلة له مساويا لحاصل ضرب المقاومة في انصاف اقطار الاسطوانة التي كل نصف قطر منها يزيد قدر نصف قطر الجبل الموقوف على الاسطوانة المتألهة

ثم ان الطريقة الانية تستعمل غالباً في تحويل قهر ليدور من محور مفروض الى محور مواز له وكيفية استعمالها أن نثبت على كل من محوري ش و ش (شكل ١٠) قرصين ش و ش ونقيطهما بجبل ا ا ب غير المتناهي الذي يوجد به فروع صغيرة قريبة جداً من بعضها ومربوطة في تجويفات مصنوعة في محيط القرصين لتمنعه عن التزحلق فانما كانت ح هي القوة المحركة للعجلة الكبيرة والمؤثرة في طرف ذراع رافعة ش كان $\text{ش} \times \text{ح}$ هو مقدار القوة المذكورة واذا كان ط هو مقدار الجبال لزم أن عجلة ش ا ب تكون $\text{ح} \times \text{ش} = \text{ط} \times \text{ش}$ فاذن يكون

$$\text{ط} = \text{ح} \times \frac{\text{ش}}{\text{ا}}$$

واذا كان ر هو المقاومة المؤثرة في طرف ذراع ش فنحصل معنا بلا واسطة شرط التوازن وهو

$$\text{ر} \times \text{ش} = \text{ط} \times \text{ش} \text{ فاذن } \text{ط} = \text{ر} \times \frac{\text{ش}}{\text{ا}}$$

غير أن شد ط الحاصل من القوة يكون عين شد ط الحاصل من المقاومة

$$\text{وبناء على ذلك تكون } ح \times \frac{شد}{شا} = ز \times \frac{شد}{شا}$$

فإذا فرضنا أن شد = شد فنحصل ح × شا = ز × شا

وهذا من شروط التوازن البسيطة جدًا

ولنفرض في حالة التحرك أن ذراع شد الذي تكون قوة ح واقعة عليه

يحدث دورة في زمن ط ثم ننظر كم دورة يحدثها في هذا الزمن ذراع شد

الذي تكون مقاومة ر واقعة عليه

فيدور قرص أب دورة كاملة في مدة دورة شد وتقطع كل نقطة

ك نقطة آ على الحبل غير المتناهي مسافة تساوي محيط العجلة غير أن كل

نقطة من قعر العجلة الصغيرة تكون سريعة الحركة كالحبل غير المتناهي لأن

المفروض أن الحبل دائمًا لا يترحل بطول العجلات فاذن تقطع نقطة آ في مدة

زمن ط على عجلة آه مسافة تساوي محيط أبه وحيث أن

طول المحيطات مناسب لطول انصاف الاقطار يكون محيط آه الصغير

محصورا في الكبير بقدر انحصار نصف القطر الصغير في الكبير وحيث أن

نقطة آ تحدث دورات بقدر انحصار شا في شا حتى تقطع على

العجلة الصغيرة مسافة تساوي محيط العجلة الكبيرة

فإذا ضربنا عدد الدورات في مقدار المقاومة وهو ر × شد فنحصل معنا

$$ر \times شد \times \frac{شا}{شا} \times \text{محيط أب}$$

وهي كمية مساوية بالضبط للقوة ح × شد × محيط أب

$$\text{حيث أن } ح \times \frac{شد}{شا} = ز \times \frac{شد}{شا} \text{ يحدث منه}$$

$$ح \times شد = ز \times \frac{شا}{شا} \times شد$$

وبناء على ذلك يحدث

$$\text{ح} \times \text{د} \times \text{هـ} \times \text{ب} = \text{ر} \times \text{ش} \times \frac{\text{ا}}{\text{ز}} \times \text{محيط هـ ب}$$

وتوجد هنا ايضا المساواة التي تكون دائما باقية على حالة واحدة بين كينى تحرك القوة والمقاومة في تحرك الآلات المتواصل

ويكثر استعمال الالة التي ذكرناها آتفا في حرفة الخراطة وتستعمل ايضا في الحرف الهينة كمن السكاكين وكذلك في فن الفزل كالتقرص الذي به يغزل الخيط

وفي ذلك القرص تكون قوة ح هي رجل الفازل المؤثرة في طرف المانوية بواسطة دقاسة تسمى عليها تلك القوة مرة واحدة في كل دورة

ويستعمل غالبا في الورش التي يحتاج فيها الى مجهودات عظيمة سيور عريضة عوضا عن الحبل غير المتناهي الذي يدير الجهتين ووبما استعملت السلاسل عوضا عن الحبال

وقد تستعمل السلاسل المسننة التي تكون كلباتها الصغيرة منضجة الى بعضها بحاور او بمسامير بارزة من الجهتين وداخله في ثقب مصنوعة في الطرفين المتنيين من القرص الذي لا يمكن تحريكه بدون السلسلة

ويمكن بواسطة الطارات المضرسة (شكل ١٢) عدم استعمال ما ذكر من الحبال والسيور والسلاسل وتحويل التحرك من طارقي الى اخرى مباشرة لانه اذا قابلنا حيتدين طارقي $\overline{\text{ا هـ}}$ و $\overline{\text{ا ر هـ}}$ مع كاتنا متحركتين بوتر $\overline{\text{ا ر ب}}$ (شكل ١٠) او كان لهما اضراس متعشقة ببعضها مباشرة (شكل ١٢) وجدنا في كلتا الحالتين ان كل نقطة من نقط $\overline{\text{ا هـ}}$ و $\overline{\text{ا ر هـ}}$ تحرك بسرعة واحدة الا ان $\overline{\text{ا هـ}}$ (شكل ١٢) يدور من الشمال الى الجين و $\overline{\text{ا ر هـ}}$ بالعكس اي من الجين الى الشمال واما الطارات المقردة (شكل ١٠) فتدور في جهة واحدة

وحيث كانت نقطتا $\overline{\text{ا}}$ و $\overline{\text{ا}}$ (شكل ١٠) متعدي في السرعة فان نقطة $\overline{\text{ا}}$ تحدث على $\overline{\text{ا هـ}}$ دورة كاملة حين تحدث $\overline{\text{ا}}$ على $\overline{\text{ا ر هـ}}$

الى جهة $\overline{\text{شاه}}$ وقوة $\overline{\text{ن}}$ المتجهة الى جهة المقاومة الواقعة
على الطارة الثانية وهي $\overline{\text{شاه}}$ لزم لاجل حصول التوازن أن تكون
هاتان القوتان متساويتين بالبداهة

ولكن قوة $\overline{\text{ح}}$ مؤثرة على $\overline{\text{اه}}$ في طرف ذراع رافعة $\overline{\text{شد}}$ ومقاومة
 $\overline{\text{ر}}$ مؤثرة على $\overline{\text{اه}}$ في طرف ذراع رافعة $\overline{\text{شو}}$ فيصير

$$\overline{\text{ح}} \times \overline{\text{شد}} = \overline{\text{م}} \times \overline{\text{شو}}$$

$$\overline{\text{ر}} \times \overline{\text{شو}} = \overline{\text{م}} \times \overline{\text{شو}}$$

$$\text{فاذن يكون } \overline{\text{ح}} \times \overline{\text{شو}} = \overline{\text{شد}} \times \overline{\text{ر}}$$

فعلى ذلك يعلم أولا أنه حيث كان $\overline{\text{شد}}$ و $\overline{\text{شو}}$ معلومين فكلما كان

$\overline{\text{شو}}$ صغيرا كبر $\overline{\text{ر}} = \frac{\overline{\text{ح}} \times \overline{\text{شو}}}{\overline{\text{شد}}}$ وثانيا حيث كان $\overline{\text{شد}}$

و $\overline{\text{شو}}$ ملازمين لحالة واحدة فان $\overline{\text{ح}}$ و $\overline{\text{ر}}$ يكونان على نسبة منعكسة
عن نسبة $\overline{\text{شا}}$ و $\overline{\text{شا}}$ اللذين هما نصف قطرَي الطارتين المضرستين
فبناء على ذلك اذا كانت الاولى ضعف الثانية او ثلاثة امثالها او اربعة امثالها
كانت مقاومة $\overline{\text{ر}}$ المعادلة لقوة $\overline{\text{ح}}$ ايضا ضعف هذه القوة او ثلاثة امثالها
او اربعة امثالها

وهناك آلة تشبه الطارات المضرسة وهي عجلة العربات

وليست الاجسام الطبيعية منتبهة بسطوح مصقولة صقلا تاما وانما هي
منتبهة بسطوح خشنة متضرسة بتضاريس بارزة كثيرة اقليل لانه اذا رصدت
الاجسام المصقولة صقلا تاما باللكر سكوب (وهي النظارة المعظمة) وجدت
بها تضاريس بارزة وبناير هذه التضاريس يتعين تحركه بعجلات العربة

وذلك ان العجلة اذا كانت مصقولة صقلا جيدا وكانت الارض اقلية فان
العجلة حين تجد بها القوة الافقية تمس الارض دائما بدون أن يعرض لها ادنى
مقاومة الا أنه بالتناقل تسحق اضراس العجلة بتضاريس الارض فتقف العجلة

وتجبر على الدوران نانيا حيث انه يعرض لها في كل وقت مقاومة جديدة تعدم جزأ من سرعتها حتى تقف عن الدوران بالكلية ما لم تتجدد القوة المعدومة وقد شوهد في عدة اماكن من بلاد الانكليز سكك من الحديد مضرسة تدحرج عليها عرباب ذات عجلات مضرسة ايضا وكلاهما شاهد واضح على ما استفنا من أن السطوح المصقولة كثيرا او قليلا وكذلك السكك المسطحة والعجلات الاعيادية لا تخلو من الحرسة فاذا فرضنا أن العجلات المضرسة اسطوانية او مخروطية وان محاورها بناء على ذلك متوازية او متباعدة عن بعضها فان نسبة القوة للمقاومة ليست دائما عين نسبة ابعاد النقطة التي تماس فيها الاضراس مع الاسهم المتناظرة التي فصل القوة بالمقاومة

ثم ان صناعة العجلات المضرسة هي من ادى الصناعات وذلك انها تستلزم مراعاة القواعد الهندسية المضبوطة المتعلقة بتقسيم الدائرة (راجع خواص الاسطوانات في الدرس الثالث والثامن من الجزء الاول وكذلك خواص المخروط في الدرس الرابع عشر منه)

فاذا كان المطلوب صناعة عجلات ذات قطر كبير لزمن مزيد الالتفات الى القواعد الهندسية في صناعة الاضراس لانها من الامور المهمة ولا بد ايضا أن تكون العجلات دائرية على وجه بحيث تنطبق نقط الضرسين المتماسين على بعضها كالتطابق على القرية على الارض بدون أن تتركح احداهما وتحتك على الاخرى حتى يكون سيرها على وفق المرام من سرعة او بطي

وهناك مؤلفات في علم الميكانيكا تشتمل على حل مثل هذه المسائل حل تاما فمن اراد ذلك فعليه بها (منها رسالة الالات للمهندس هاشيت وهي رسالة جلية نافعة)

وعوضا عن استعمال عدد قليل من الاضراس الكبيرة البارزة الصغيرة كما كان ذلك سابقا استصوب استعمال عدد كثير منها وجعلها قليلة البروز والعرض طويلة عن المتقدمة ليكون لها صلابه كافية فيسهل حيث ندرسم صورة

الاضراس ويكنى في ذلك أن يكون جانبها على صورة مستطيل زواياها البارزة منفردة قليلا وتكون مستديرة استدارة خفيفة في الوجهتين العموديتين على محيط العجلة وهذا آلة عند تحركها في مبداء الامر تبرى الاجراء البارزة جدا وان لم يذ كر ذلك في النظريات لكنها بالاستعمال تصير مستحسنة لطيفة

واعلم صناعات الآلات والساعات الكبيرة يسلكون هذا المسلك في طاراتهم المخرسة الاعتيادية غير أن استدارة هذه الطارات تكون تامة

فيستعمل صناعات الساعات الكبيرة طارات لاصرها صور متنوعة ومتباينة بالكلية منها ما هو على شكل محيط اسطوانة (شكل ١٧) وطرارات الخبز او المنع (شكل ١٦) (وهي آلات تدوير الى جهة وتفتح الدوران الى اخرى) اضراس مسننة ومائلة الى ذراع الرافعة الذي يمنع العجلة عن الرجوع والتأخر واذا حصل عند التأخر والرجوع ضرر كبير او خطر في التحرك المستدير بلزم المبادرة الى آلة المنع ما لم يستعمل لذلك الحاجز المسمى بالرامم الآتى ذكره في الدرس الثالث عشر المتعلق بالاحتكاك

وفي الغالب يستعمل التركيب الآتى وهو أن احدى الطارات المخرسة تستبدل باسطوانة مخرسة منيرة تعرف بالقانوس (شكل ١٥) وتركب هذه الاسطوانة من عدة قضبان مستديرة ومحاورها على بعد واحد من بعضها وتكون على محيط مستدير ويكون في المسطحين المصنوعين على شكل دائرة تقوب مربعة تعرف بالعاشق يدخل فيها اطراف القضبان المربعة المعروفة بالمعشوق وحيث ان القانوس المذكور ليس الا طارة مخرسة فان نسبة القوة المقاومة تقوم بمقتضى القاعدة المطردة التي سبق توضيحها

والكريك وهي نوع من المنجنون (شكل ١٨) آلة يكون محور طارتها المخرسة وهو **اب** ثابتا واما قضيبها المستقيم المخرس وهو **هـ** فانه يكون متحركا بواسطة العجلة

ويوجد في الكريك البسيطة ما نؤيله كما نؤيله **ثبب** تتحرك بها

طارة آ المضرة المتعشقة بقضيب $\overline{هـ ف}$ المضرس وفي هذه الآلة
تكون نسبة القوة الى المقاومة هي $\frac{\overline{ح}}{\overline{ر}} = \frac{\overline{ث ب}}{\overline{ث أ}}$ وترى في هذا
التساوى أن $\frac{\overline{ث ب}}{\overline{ث أ}}$ هي نسبة المسافتين المقطوعتين في زمن واحد بالقوة
والمقاومة

وأما الكريك المركبة (شكل ١٩) فلها ماؤيلة تؤثر على الترس الصغير الاول
المتعشق بالجملة التي على محورها ترس صغيران متعشق مباشرة بقضيب الكريك
ويجعل $\overline{د و}$ و $\overline{د ز}$ من نصفي قطري الماؤيلة والجملة $\overline{و ز}$ و $\overline{د و}$
ومزمن الى نصفي قطري الترسين المذكورين يحدث معنا في هذه الحالة الجديدة
شرط التوازن وهو

$$\overline{ح} \times \overline{د} \times \overline{د} = \overline{ر} \times \overline{ز} \times \overline{ز}$$

مثلا اذا كان $\overline{د}$ ثلاثة امثال $\overline{ز}$ و $\overline{د}$ ثلاثة امثال $\overline{ز}$ فنحصل معنا
 $\overline{ح} \times 3 \times 3 = \overline{ر} \times 1 \times 1$ او $\overline{ر} = \overline{ح}$ فاذن تكون قوة $\overline{ح}$
موازنة لقوة اكبر منها ٩ مرات وأما في الابعاد التي يقع فيها القضيب المضرس
مباشرة على الترس الصغير الاول فان قوة $\overline{ح}$ لا تكون موازنة للقوة اكبر منها
٣ مرات غير انه اذا اريدت تحصيل التحرك يلزم أن قوة $\overline{ح}$ تقطع ٩ مرات
مقدارا من المسافة اكثر من المقاومة

(الدرس الحادي عشر)

في بيان التوازن على المستويات الثابتة والمستويات المائلة وسكك الحديد
التي مستوياتها مائلة

قد اعتبرنا فيما تقدم نقطة ثابتة في توازن الرافعة ومستقيما ومحورا ثابتا في توازن
قرص البكرة والنجنون وماشا كلهما ولنبحث الآن عن توازن القوة المؤثرة
على مستو ثابت بفرض هذا المستوى مصقولا مقللا جيدا فنقول

لكيلا يحصل ادنى تحرُّك من قوة ح ث (شكل ١٠) الدافعة لنقطة ث المادية على مستوى أ ب الثابت يلزم أن تكون هذه القوة عمودية على المستوى المذكور

فإذا كانت القوة المذكورة عمودية على المستوى الثابت فإن النقطة المادية لا تتحرَّك في جهة أكثر من أخرى مضادة لها بل تبقى ساكنة حيث إن كل شيء يصير بمثابة في اتجاه القوة وفي شكل المستوى المعتبر في سائر الجهات وإذا كانت قوة ح ث المذكورة مائلة (شكل ٢) أمكن حلها إلى قوتين أحدهما وهي ش خ متجهة على المستوى المتقدم والآخرى وهي ش ح عمودية على هذا المستوى وحيث إن تأثير هذه القوة الأخيرة منعدم بالمستوى المذكور لم يبق إلا القوة ش خ وحدها فتؤثر في اتجاه ث أ ولا يحصل لها ادنى مقاومة وبذلك لا يمكن حصول التوازن

ولنفرض الآن أن هناك عدة مامن القوى مثل ش ح و ش خ و ش ر الخ (شكل ٣) كلها دافعة لنقطة ث المادية على مستوى أ ب فيلزم جعل كل قوتها في طرف الأخرى بدون أن يتغير اتجاهها ثم يخلق مضلع القوى بمستقيم آخر يدل مقدارا واتجاها على محصلة هذه القوى فيبتدأ ليحصل التوازن (شكل ٣) إلا في الصورة التي تكون فيها ش ر أعني محصلة سائر القوى المذكورة عمودية على المستوى الثابت فإنها لم يحصل التوازن فإن نقطة ث المادية (شكل ٤) تتحرَّك على طول المستوى الثابت كما لو كانت مدفوعة بقوة ش ر المنفردة المساوية لسطح محصلة ش ر على المستوى الثابت

ولنفرض بذلك عن النقطة المادية جسم ث هـ (شكل ٥) المدفوع على المستوى الثابت بقوة ح فيلزم أن يكون اتجاه ح مائلا بنقطة ث متى كانت هذه النقطة وحدها مشتركة بين المستوى والجسم لأنه إذا فرضنا أن قوة ح تمر بنقطة أخرى من خط المستوى الثابت كنقطة ث

واضعنا هذه القوة في نقطة الجسم وهي Γ القريبة بالكلية من المستوى
الثابت على Γ ث لم يكن هناك مانع يمنع قوة Γ من دفع نقطة Γ
حتى تماس المستوى فتجذب حيثئذ جسم Γ فكله فاذن لا يحصل
التوازن

ولابد أن تكون قوة Γ دائما عمودية على المستوى الثابت حتى
لا تنحل الى قوتين احدهما عمودية يعدهما المستوى والثانية متجهة الى
جهة ذلك المستوى من غير أن يعارضها شيء

فاذا اثرت عدة قوى في الجسم لزم أن تمر محصلها بنقطة Γ وأن تكون
دائما عمودية على المستوى الثابت ليبقى الجسم متوازنا دائما

فاذا فرضنا الآن أن الجسم يمس المستوى في نقطتي Γ و Δ (شكل ٦)
لزم أن تكون المحصلة الكلية لسائر القوى المؤثرة في الجسم مضملة الى قوتين
تتزان بالنقطتين المذكورتين

وبأجله فليكن $\Gamma\Gamma$ هو المسقط الرأسي (شكل ٦) لمحصلة سائر القوى

وليكن $\Gamma\Gamma$ و $\Delta\Delta$ المساطق الاضيق لاضاع قطعتي $\Gamma\Gamma$ و $\Delta\Delta$ النابتين

ونقطة Γ التي تلاقي فيها المحصلة المستوى الثابت

فيمكن أن نعدا $\Gamma\Gamma$ و $\Delta\Delta$ مستقيمين $\Gamma\Gamma$ و $\Delta\Delta$ ونحل

قوة $\Gamma\Gamma$ الى قوتين موازيتين لقوة $\Gamma\Gamma$ احدهما وهي $\Gamma\Gamma$ واقعة على

$\Gamma\Gamma$ والاخرى وهي $\Gamma\Gamma$ واقعة على اى نقطة كانت مثل نقطة Γ من مستقيم

$\Gamma\Gamma$ وحيث ان قوة $\Gamma\Gamma$ عمودية على المستوى الثابت ومارة بنقطة Γ

التي يكون فيها الجسم مماسا للمستوى لا يمكن أن يتغير توازن المستوى فلم يبق

حينئذ الا قوة $\Gamma\Gamma$ التي لا يدور بها الجسم الا اذا لم تكن نقطة Γ مشتركة بين

هذا الجسم والمستوى الثابت ما لم تكن نقطة Γ المذكورة موجودة

بين \bar{A} و \bar{B} لانها اذا كانت موجودة خلف واحدة منهما ربما قلبت الجسم الى تلك الجهة

ولنفرض جسما مستندا من قطعه الثلاثة وهي \bar{A} و \bar{B} و \bar{C} (شكل ٧) على مستوئيات وفصل بين تلك النقط الثلاث بمستقيمات $\bar{A}\bar{B}$ و $\bar{B}\bar{C}$ و $\bar{A}\bar{C}$ فلاجل أن يكون الجسم الواقع عليه تأثير قوة ما كقوة \bar{C} متوازنا يلزم أولا أن تكون هذه القوة عمودية على المستوى الثابت وثانيا أن لا تكون النقطة التي تلاقى فيها تلك القوة المستوى الثابت موضوعة خارج مثلث $\bar{A}\bar{B}\bar{C}$ لانه بدون ذلك لانشئ يمنع القوة عن ايقاع الجسم من الجهة التي تكون هي موجودة فيها

فاذا كان الجسم المستند على المستوى الثابت عدة نقط بدلا عن نقط الارتكاز الثلاث لزم أن نصل بين كل نقطتين منها بمستقيم بحيث يحدث من ذلك شكل مضلع مغلق انفلافا تاما خال عن الزاوية الداخلة فحينئذ تكون شروط توازن الجسم المدفوع بالقوة هي أولا كون هذه القوة عمودية على المستوى الثابت وثانيا أن لا يكون اتجاهها الممتد الى المستوى الثابت خارجا عن المضلع المذكور

واذا اعتبرنا ثاقلا الاجسام عند اقترانها ببعضها وعند حساب مواد الالات كانت صور التوازن المتنوعة على غاية من الوضوح

وما ذكرناه في شأن الاجسام الموضوعة على المستويات يجري كله في الاجسام الموضوعة على سطوح اياما كان شكلها سواء كانت تلك الاجسام مركبة من اجزاء مستقيمة او منحنية ويلزم دائما أن تكون محصلة القوى المؤثرة في الجسم منفصلة الى قوى مارة بنقط الارتكاز وعمودية على السطح الثابت وكذلك يلزم أن لا تكون هذه المحصلة مارة من خارج المضلع الخارجى عن الزوايا الداخلة الحادث من المستقيمات الواصلة بين نقط الارتكاز

وفى القنون عليان كثيرة جارية على حسب تلك القواعد * مثلا يلزم لاجل

نوازن قلم النفس عند دفعه باليد على اى سطح كان أن يوجه عموديا على هذا السطح حتى لا يتزحلق وأن يكون دفع القوة في اتجاه رأسه الى سنه والواقع او تزحلق

فاذا كان الجسم مدفوعا على مستو ثابت وكان مستندا على با أكثر من ثلاث نقط لزم أن تراجع في هذه المسئلة القواعد المقررة في شأن هذا الجسم وما مثله لنعلم القوانين التي يحصل بها تدارك الضغط الواقع من الجسم في كل نقطة من نقط ثلاثه مع المستوى الثابت

وذلك لان هناك صورة شهيرة تبين فيها مقدار هذا الضغط بلا واسطة وهي التي يتكون فيها من جميع نقط التماس على المستوى الثابت شكل منتظم وتكون فيها القوة الدافعة للجسم على ذلك المستوى متجهة الى جهة بحيث تمر بمركز هذا الشكل واذا فرضنا أن الجسم متماثل بالنسبة للمستويات التي تمر على التناظر بمجاور تماثل المضلع او الشكل المنتظم الحادث من نقط التماس كان الضغط الواقع على كل من هذه النقط واحدا فعلى ذلك يكون الضغط الواقع على كل جزء من اجزاء سطح التماس مساويا للقوة الدافعة للجسم على المستوى الثابت مقسومة على عدد هذه النقط

ويكثر في الفنون استعمال عدة عظيمة من الاجسام الموضوعة على المستويات الثابتة في نقط موضوعة وضعا مرتباً على حسب ما تقتضيه قواعد التماثل المذكورة آنفاً

وقد بسند الانسان وغيره من الحيوانات ذوات الارجل ثقل اجسامهم على ارجلهم التماثلة التي مستوى تماثلها هو عين مستوى الجسم فعلى ذلك يكون الضغط الواقع على كل رجل واحدا * وفي الامور الصناعية يجعل لاغلب الاشياء المستعملة ثلاث نقط او اربع من نقط الارتكاز ويطلق على اجزاء الجسم التي تباشر الارض اسم الارجل لعلاقة المشابهة بينها وبين الارجل الحقيقية لانها في الغالب تكون على صورة رجل الانسان او غيره من الحيوانات وذوات الارجل الثلاث هي كاسمها آلة مركبة من ثلاث ارجل فاذا كانت

صورتها مستوية لشروط التماثل المتقدمة كان الضغط الحاصل لكل رجل على المستوى مساويا لثالث القوة التي تدفع ذات الرجل الثلاث دفعا عموديا على المستوى المذكور والتحتات والاسرة لها رجل اربع وهي مستوية لشروط التماثل المتقدمة وبناء على ذلك يقع على كل رجل من تلك الرجل الاربعة ريع الضغط الواقع عموديا على المستوى الثابت باى قوة كانت وهناك اشياء تحملها مستويات نابعة على خطوط متواصلة منتظمة في صورة ما اذا استوفى الجسم شروط التماثل يكون الضغط الواقع على جميع نقط هذه الخطوط واحدا وعليه فيكون الضغط الواقع على كل واحدة منها على نسبة منعكسة عن نسبة طولها الكلى

ويستعمل في القنون غالباً سطوح الدوران فتوضع على مستوى \overline{MN} الثابت (شكل ٨) وتكون مماسة لهذا المستوى على شكل دائرة

ا ب ت الموازية له فاذا كانت القوة التي تضغط السطح على المستوى تضغط هذا السطح ايضا على محوره كان بالضرورة الضغط الواقع على جميع قط دائرة التماس واحدا هذا ولم تنوع في بيان تطبيق هذه العمليات على الصناعة

ولنفرض أن جسم **ب ت ف** (شكل ٩) الموضوع على مستويين ثابتين كستوى **ا** و **٢** يكون مماسا لهما في نقطتي **ب** و **ث** فلاجل أن يكون هذا الجسم الواقع عليه تأثير قوة **ا ح** متوازنا يلزم بالضرورة أولاً أن نحلل هذه القوة الى قوتين متجهتين على حسب مستقيمي **ح م** و **ح ن** المارين بنقطتي الارتكاز وهما **ب** و **ث** وثانياً أن يكون

$\overline{ح م}$ عمودا على مستوى **ا** و $\overline{ح ن}$ عمودا على مستوى **٢** ناذا توقرت الشروط انعدمت قوة $\overline{ح م}$ بمستوى **ا** الثابت وقوة $\overline{ح ن}$ بمستوى **٢** الثابت وبذلك يحصل التوازن

ولا يمكن حصول التوازن فيما عدا ذلك لان المقاومة الحاصلة من كل مستو متجهة على العمود الواصل بين نقطتي ارتكاز الجسم على هذا المستوى فيلزم

بأن تكون المقاومتان المتجهتان بهذه المثابة موازيتين للقوة لكن لا أجل
توازن ثلاث قوى يلزم أن تكون من مبدأ الأمر متقابلة في نقطة واحدة وعلى
ذلك فلابد في سائر أحوال الجسم المدفوع بقوة على المستويين المتساويين له
في نقطة واحدة من أن يكون المستقيم الذي تؤثر فيه هذه القوة والعمودان
القائمان على كل من قط التماس مارة كلها بنقطة واحدة وحيث نذكر يعرف
الضغط الواقع على كل مستو من متوازي الاضلاع الحادث من هذه الخطوط
الثلاثة بأن يؤخذ على الأول منها وتر مساو للقوة

وفي صورة ما إذا كان الجسم عماسا لثلاثة مستويات في نقطة واحدة يلزم أن
تكون القوة المذكورة دائما موازنة للقوى الواقعة في النقط المتقدمة
على الخطوط العمودية على هذه المستويات والدالة على المقاومات المؤثرة
في المستويات وليس يلزم أن تكون سائر اتجاهات المقاومات متقابلة في نقطة
واحدة

ولنفرض جسم $م ب$ (شكل ١٠) الواقع عليه تأثير قوتى
 $ح$ و $خ$ اللتين يتقابلان في نقطة $ا$ ويكونان متوازيتين حول
نقطة الارتكاز وهى $ث$ على مستوى $س ص$ الثابت ونفرض
أيضا بدون أن يتغير وضع نقطة الارتكاز المذكورة أن وضع $ث ا$
يختلف قليلا بأن ندير $ث ا$ حول نقطة $ث$ فإذا مددنا عمودى
 $ث د$ و $ث ه$ على $ا ح$ و $ا خ$ أمكن اعتبار $د ث$
كرافعة منكسرة ويجب ما تقرر في شأن الرافعة تكون مسافة $د ا$ التى
تقطعها نقطة $د$ ومسافة $ه ا$ التى تقطعها نقطة $ه$ عند اختلال
الجسم قليلا مناسبتين لقوتى $ح$ و $خ$ المقابلتين لهما بمعنى أنه
يحدث

$ح : خ :: د : ه$ ويحدث من ذلك $د \times ح = ه \times خ$
ويمكن في هذه الصورة استعمال قاعدة السرعة المتجهة

وحيث كانت جميع الاجسام مدفوعة دائماً بقوة التناقل لزم أن تكون الاجسام
الموضوعة على المستويات مستوفية للشروط السابقة حتى تبقى على توازنها
فاذا فرضنا أن أي قوة تحرك الجسم الموضوع على مستوئيات ولا تمسكه بحيث
يبقى على توازنه لزم أن يكون هذا المستوى عموداً على اتجاه التناقل اعني على
الخط الرأسى

ويلزم حيثئذ أن يكون هذا المستوى الثابت اقلياليكون الجسم الموضوع
عليه متوازناً من غير أن يكون هنالك قوة تحركه او تمسكه وهذا هو السبب في كثرة
استعمال المستويات الثابتة الاقضية في الفنون فمن ذلك تخشيبات المنازل
الفرنجية المستعملة عندهم بدلاً عن البلاط فانها تجعل اقلية ليكون ما يوضع
عليها من الامتعة متوازناً وكذلك الانسان فانه لا يتزحلق ولا يسقط من
جهة الى اخرى وبمثل هذا السبب جعلوا مستويات التخشات والرفوف
اقضية ايضاً

فاذا كانت محصلة ثقل الجسم مارة دائماً بمركز ثقله لزم أن تكون مستوفية لجميع
شروط التوازن ليكون الجسم المحلى لتناقله والموضوع على مستوئيات باقياً
على توازنه

ونفج من ذلك اولا انه اذا كان الجسم الموضوع على المستوى لا يمس
الا في نقطة واحدة لم أن يكون الخط الرأسى الممتد من هذه النقطة ماراً بمركز
ثقل هذا الجسم

وثانياً انه اذا كان الجسم الثقيل يمس المستوى الثابت في نقطتين يلزم أن يكون الخط
الرأسى الممتد من مركز ثقل هذا الجسم ماراً بالمستقيم الواصل بين نقطتي تماس
الجسم مع هذا المستوى الثابت

وثالثاً انه اذا كان الجسم الثقيل يمس المستوى الثابت في اكثر من نقطتين يلزم أن
الخط الرأسى الممتد من مركز ثقل هذا الجسم لا يمس المستوى الثابت
في نقطة واحدة موضوعه خارج المضلع الخالى عن الزوايا الداخلة الحادث من
المستقيمتين التي يصل كل واحد منها بين نقطتين من نقط تلاقي الجسم مع المستوى

الثابت المذكور

ولترجع الى موضوعنا وهو ما اذا كان الجسم مستقدا على قطعة واحدة ومتوازنا فنقول بما يسهل علينا مشاهدته أن كل جسم كروي مثل أ ب ث (شكل ١١) متجانس المادة تثبت له هذه الخاصية وهي أنه اذا وضع على مستواقي كان متوازنا فيه بالضرورة لان مركز ثقل هذا الجسم يتعد بحيث يتركز شكله ويكون كل نصف قطر مثل غ ح ث عمودا على مستوى م ن الافقي الذي يمر الكرة في قطعة ث فاذا ن يكون مستقيم ع ح ث العمودي على مستوى م ن الافقي رأسيا وحيث تكون قوة غ ح المكافئة لتأثير ثقل هذا الجسم على م ن مستوية لساو الشرط التي لابد منها في التوازن

ولنأخذ جسما مثل أ ب ث (شكل ١٢) له صورة كالسبعة يكون حادنا من دوران قطع ناقص حول محوره الكبير فاذا وضع هذا الجسم على مستواقي بحيث يكون المحور الكبير وهو أ ب اقيا كان التوازن حاصلا لان غ الذي هو مركز ثقل هذا الجسم المتجانس المادة فرضا يتعد بمركز شكله كما في الجسم الكروي ويكون خط ح غ ث الرأسى الممتد من المركز ما ر نقطة ث التي يكون فيها الجسم مماسا للمستوى الافقي ويحصل التوازن ايضا اذا وضع جسم أ ب ث على وجه بحيث يكون المحور الكبير وهو أ غ ب (شكل ١٣) رأسيا لان محصلة ثقل هذا الجسم اذا كانت مارة بمركز غ كانت مارة ايضا بنقطة أ

ولكن هنالك فرق ظاهري بين حالتى التوازن وهو انه اذا تغير وضع هذا الجسم قليلا (شكل ١٢) تحرك فوراً حتى يصل الى الوضع الذي يحصل فيه التوازن واذا تغير وضع الجسم (شكل ١٣) قليلا تباعد عنه شيئاً فشيئاً حتى يسقط

وقد يكون التوازن الاول نابا والثاني غير ثابت ويكنى بالثابت وغير الثابت

عن القوة التي تقرب بها الاجسام او تبعد من اوضاع توازنها عند تحوّلها عن تلك الاوضاع

(ويمكن بواسطة ما اسلفناه من النتائج حل هذه المسئلة وهي أن قرض جسمين بجسمي أ ب ث و أ ر ث (شكل ١٦) توازنهما غير ثابت

وموضوعين على مستوى م ن بحيث يكون خطا أ غ و أ ح رأسيين والمطلوب تحصيل الشروط التي لا بد منها في توازن هذين الجسمين المنصرفين عن وضع توازنهما وان كانا مستنديين على بعضهما في نقطة ك فلاجل مزيد السهولة نرض أن هذين الجسمين متساويان بالكلية وأن ميلهما واحد وليكن ح ومز التقلعما

فيكون كل منهما مائلا لآخر على مستو رأسي ويحدث من كل منهما على الآخر ضغط واحد كضغط س = م ر وليكن الان غ ه و غ ه هما الرأسيان النازلان من تقطعي غ و غ اللتين هما مركزا ثقل هذين الجسمين ولتكن ث و ث هما قسطنتا تلاقيهما مع مستوى م ن فيكون مقدار ح بالنسبة الى جسم ب ث د هو ح × ث ه وبالنسبة الى جسم ر ث د هو ح × ث ه وهذان المقداران متساويان لكن حيث ان س و م ر هما كتابة عن الضغط الحاصل من كل من الجسمين على الآخر فاذا اتينا من تقطعي الاركانا وهما ث و ث عمودي ث س و ث م ر على هذين الجسمين حدث س × ث س = م ر × ث م ر وهو المقدار المتحصل من هذا الضغط

وحيثه يلزم أن يتصل في حالة التوازن

ح × ث ه = س × ث س = ح × ث ه = م ر × ث م ر
فاذا كانت الاجسام ثلاثة فان حل المسئلة يكون على الوجه السابق بأن نجعل مقدار ح × ث ه الذي هو مقدار كل جسم منها متوازنا مع

الضغط الحاصل من كل من الثلاثة على الآخرين
ويحل العساكر هذه المسئلة بوجه آخر على وذلك انهم يضعون ثلاث بنادق
الى بعضها فاذا توازن كل منها على $\bar{س}$ التي هي زاوية الكعب لم يكن توازنه
ثابتا بخلاف ما اذا تقاطعت السج بحيث يحصل من طرف كل منها ضغط
على الآخرين فان التوازن يكون ثابتا وحساب الضغط الحاصل من كل
بنادقة على الآخرين ليكون التوازن حاصل في هذا الوضع هو على غاية من
السهولة

ولتختبر قياس القوة التي توصل الجسم المقروض الى حالة التوازن او تبعده
عنها بان نبدأ بالوضع الاول فنقول اذا فرض أن محور $\bar{أب}$ الكبير يميل
قليلا كما في (شكل ١٤) بحيث لا يكون مماسا للمستوى الافقي في نقطة

$\bar{ث}$ وانما يكون مماسا له في نقطة $\bar{د}$ فلا يكون حينئذ $\bar{ح غ ث}$
اتجاه محصلة ثقل الجسم بل يكون اتجاها هو $\bar{ح غ د}$

فاذا اثرت الان قوة $\bar{ح} = \bar{ح}$ في جسم $\bar{أب}$ وادارته حول
نقطة الارتكاز وهي $\bar{د}$ بواسطة ذراع رافعة يساوي $\bar{د س}$ فان المقدار
الذي به يختص ثقل الجسم جزء $\bar{غ ا ث}$ ويرفع جزء $\bar{ب ث غ}$
يساوي $\bar{ح} \times \bar{د س}$ لكن حيث كان $\bar{ح}$ الذي هو ثقل الجسم باقيا على
حالة واحدة فكلمات تباعد الجسم المذكور عن الوضع الاصلي كبر $\bar{د س}$ وكلما كبر
مقدار $\bar{ح} \times \bar{د س}$ فان الجسم حينئذ يعود مع الشدة الى وضعه الاصلي فاذا
خلى وقته وصل بطبعه الى الوضع الذي يكون فيه متوازنا وهذا التوازن
هو المعروف بالتوازن الثابت

فاذا انما مستقيم $\bar{د غ و}$ الرأسي حتى يصل الى مستقيم $\bar{ث غ ح}$
الذي هو رأسي في وضع التوازن ثم مددنا خط $\bar{غ غ}$ الافقي حدث $\bar{د س}$
 $= \bar{غ غ}$ فعلى ذلك يكون $\bar{ح} \times \bar{غ غ}$ مساويا للمقدار الذي
ياخذه الجسم وضعه الاصلي واذا فرضنا أن زاوية $\bar{غ و غ}$ صغيرة

جدا يمكن أن نعتبر أن $\overline{غ}$ مساو للقوس المرسوم بنصف القطر وهو

$\overline{و غ ين و غ ث و و غ د}$ من نقطة $\overline{و}$ المعتبرة مركزا

ثم ان نقطة $\overline{و}$ هي التي تعرف عند المهندسين بنقطة مركز انصباب الجسم $\overline{ب}$ فلي ذلك اذا كان التوازن ثابتا كان مركز الانصباب فوق مركز الثقل دائما وفي صورة ما اذا كان لميل الخط الرأسى الجديد وهو $\overline{ود}$ على الخط الرأسى الاصلى وهو $\overline{و ث}$ درجة باينة يكون قوس

$\overline{غ غ}$ مناسب النصف القطر فاذا كان يكون مقدار $\overline{ح} \times \overline{غ غ}$

مناسبا ايضا لنصف قطر $\overline{غ و}$ ومساويا لبعده مركز الثقل ولر مركز الانصباب وحينئذ يؤخذ من هذا البعد قياس ثبات الاجسام

ولتكلم على الوضع الثانى فنقول اذا فرضنا انه بعد وضع جسم $\overline{ا ث ب}$ على $\overline{ا}$ التي هي طرف محوره الاكبر المنحرف عن وضع توازنه قليلا كما في (شكل ١٥) الذي فيه نقطة $\overline{د}$ الجديدة هي نقطة تلاقي الجسم مع المستوى الافقى فاذا مسددا خط $\overline{غ و}$ الرأسى فانه يقع خارج قطعي $\overline{ا و د}$ ويحدث معنا لقياس القوة التي بها يجذب ثقل $\overline{ح}$ الجسم

حتى يسقط هذا المقدار وهو $\overline{ح} \times \overline{د و} = \overline{ح} \times \overline{غ غ}$

وفي هذه الصورة كالتي قبلها اذا كانت زاوية $\overline{غ و غ}$ صغيرة جدا يمكن أن نعتبر أن $\overline{غ غ}$ قوس مركزه نقطة $\overline{و}$ فيكون حينئذ نصف قطر

$\overline{و غ}$ مناسب لبعده $\overline{غ غ} = \overline{د و}$ بالنظر لميل محور $\overline{ا ب}$ بالنسبة للخط الرأسى

ونقطة $\overline{و}$ المعروفة بمركز الانصباب في هذه الصورة تكون تحت مركز الثقل لافوقه

وبالجملة فبعدها عن مركز الثقل يستعمل لقياس عدم ثبات الاجسام الثابتة كما استعمل في الصورة السابقة (شكل ١٤) في قياس ثبات جسم

$\overline{ا ث ب}$ الموضوع على مستوى $\overline{م ن}$

فاذا

فإذا اتحد مركز الاتصاف وهو O بمركز الثقل وهو G لزم اتحاد خطي
 OD و OG الزاويتين يعضهما إلا أنه في هذه الصورة يكون الخط
 الرأسى المار بمركز الثقل المذکور ماراً أيضاً بنقطة الارتكاز وهي D وينعدم
 بعد D وعليه فيكون مقدار $OG \times OD = 0$ فاذن لا يكون
 هناك جهد يتصرف به الجسم فيبقى متوازناً

وبالجملة ففى اتحاد مركز الانتصاب بمركز النقل كان التوازن باقيا على حاله بعد انحراف الجسم ويسمى التوازن فى هذه الحالة بالتوازن الموافق فاذا كان مركز الانتصاب فوق مركز النقل فان الجسم اذا اختل وضع توازنه يعود الى وضعه الاول فيكون التوازن حيث ثابته واما اذا كان تحته فان الجسم اذا اختل وضع توازنه يبعد عن هذا الوضع شيئا فشيئا ويكون التوازن حيث ثابته

وفي جميع هذه الاحوال يكون قياس الثبات او غير الثبات معلوما من حاصل ضرب ثقل الجسم في بعدهم عن مركز الالتصاق بالمعتبر هنامركز الانحناء

فوس $\frac{1}{2}$ المرسوم على الجسم بين $\frac{1}{2}$ و $\frac{1}{2}$

وبذلك تكون خواص نبات الاجسام المتحركة على المستويات الثابتة من قبيل خواص انحناء السطوح (كما تقدم في الدرس الخامس عشر من الجزء الاول) واذا كان الابتداع نقطة ثابتة كان انحناء الجسم متماثلا بالنسبة لاجتاهين عمودين على بعضهما وكان ثبات الجسم على مستواقي متماثلا ايضا بالنسبة لاجتاهين عمودين على بعضهما وكان احدهما الاتجاه هو اتجاه الثبات الاكبر والاخر اتجاه الثبات الاصغر وكان النسبتان المتوسطان متساويين حتى كانا مأخوذتين بالنسبة لمحورين اقيين ويجذب بينهما وبين اتجاه الثبات الاكبر زاويتان مساويتان للزاويتين الواقعتين بينهما وبين اتجاه الثبات الاصغر وهما جرا

ويؤخذ من هذه المسئلة النظرية المتعلقة بنبات الاجسام المنصورة قليلا عن وضع نوازها تطبيقات مهمة تتعلق بجمعية الاهالي وثروتهم وشرف الدولة

وقوة شوكها من ذلك السفن التي ~~يصكون~~ توازنها ثابتا على البحر فانها تسير
امنة لاجل جلب ادوات الصناعة او الذب عن الوطن بخلاف ما اذا كان
توازنها غير ثابت فانها ربما اهلت وصار عاليها سافلها وفاقت في قاع البحر
بين فيها من الملاحين والعساكر ولنظرية ثبات السفن مزيد تعلق بالقواعد
التي ذكرناها آنفا غير أن كمالها يتوقف على قواعد اخرى مبنية على قوة السوائل
(راجع بحث القوى المحركة في الجزء الثالث من هذا الكتاب)

ولما اتينا الكلام على توازن الجسم فوق المستوى الافقي وجب أن نشرع
في الكلام على توازنه فوق المستوى المائل المعروف في اصطلاحهم بالمستوى
الذي ليس اقويا ولا رأسيا نقول

يقاس ميل هذا المستوى بالزاوية الحادثة منه مع المستوى الافقي وبموجب
الهندسة (كما في الدرس السابع من الجزء الاول) يتوصل الى قياس تلك
الزاوية الحادثة من المستويين المذكورين بقياس الزاوية الحادثة من خطين
مستقيمين احدهما على المستوى الافقي والثاني على المستوى المائل وكلاهما
يمتد من نقطة واحدة امتدادا عموديا على تقاطع المستويين

ولنجعل خط م ن الافقي كناية عن المستوى الافقي (شكل ١٧)
ومستقيم ا ب كناية عن المستوى المائل وهذان الخطان يحدث عنهما
زاوية مماثلة للزاوية الحادثة بين المستويين المذكورين

ولنضع جسماءا كان بجسم س على ا ب فان لم يكن هنالك قوة اجنبية
تمسكه امكن حل ثقله وهو غ ح الى قوتي غ خ و غ ح اللتين
احدهما موازية للمستوى المائل والاخرى عمودية عليه وينعدم تأثير القوة
الثانية اذا لم يقع عمود غ ح خارج المضلع الحادث من وصل نقط التماس
بعضها بواسطة خطوط مستقيمة فيمكن حينئذ ان يطبق على تلك القوة سائر
ما ذكر في شأن التوازن الثابت وغير الثابت والموافق المتعلق بالاجسام المستندة
على المستويات الالقية

واما قوة $\overline{غ\ ح}$ فحيث انها مؤثرة بالتوازي لمستوى $\overline{ث\ أ}$ لا يحصل لها مقاومة مامن هذا المستوى فان لم تكن هناك قوة اجنبية تعارضها زحلت الجسم على طول المستوى المائل

ثم ان نسبة المسافة التي يقطعها هذا الجسم على المستوى الى المسافة التي كان يقطعها في زمن واحد عند سقوطه بلا معارض على $\overline{غ\ ح}$ كنسبة قوة $\overline{غ\ ح}$ الجاذبة للجسم بالتوازي لمستوى $\overline{ث\ أ}$ الى قوة $\overline{ع\ ح}$ الجاذبة له جذبا رأسيا

واما ان تحرك الجسم بواسطة قوة $\overline{غ\ ح}$ او كان ممسكا بقوة $\overline{غ\ ح}$ المساوية لها والجاذبة له في جهة مقابلة لجهتها فانه متى اريد حصول التوازن يلزم ان يكون عمود $\overline{غ\ ح}$ واقعا على النقطة التي يكون فيها الجسم مماسا لمستوى $\overline{ث\ أ}$ المائل اذ لم يكن هناك الا نقطة تماس واحدة فاذا كان هناك عدة نقاط لم يقع ذلك العمود في المضلع الخالي عن الزوايا الداخلة الحادث من وصل كل نقطتين من النقط التي يكون فيها الجسم مماسا للمستوى المائل وهذه القضية النظرية لها فائدة عظيمة في تطبيقها على ثبات العربات الساكنة او المتحركة

واذا كان جسم بجسم $\overline{غ}$ (شكل ١٨) متوازنا على مستوى $\overline{ث\ أ}$ المائل بواسطة قوة واحدة كقوة $\overline{غ\ ح}$ الموازية لهذا المستوى لزم أولا عند تحليل $\overline{غ\ ح}$ الذي هو ثقل الجسم الى قوة $\overline{غ\ ح}$ و $\overline{غ\ ح}$ أن قوة $\overline{غ\ ح}$ المؤثرة بالعرض في $\overline{ث\ أ}$ تأثيرا عموديا تجعل ذلك الجسم المجرد عن التناقل بالعرض متوازنا على $\overline{ث\ أ}$ وثانيا أن قوة $\overline{غ\ ح}$ تمر بمركز الثقل وهو $\overline{غ}$ فيحدث اذن هذا التناظر وهو

$$\overline{قوة\ ح} :: \overline{غ\ ح} : \overline{غ\ ح}$$

فاذا مددنا $\overline{ن\ و}$ عمودا على مستوى $\overline{م\ ن}$ الافقي كان مثلنا $\overline{ان\ و}$ و $\overline{غ\ ح}$ متشابهين ويحدث من ذلك هذا التناظر وهو

$$\overline{\text{او}} : \overline{\text{ن و}} :: \overline{\text{غ ح}} : \overline{\text{غ غ}} = \overline{\text{غ غ}}$$

اعني أن نسبة ثقل الجسم الى قوة $\overline{\text{غ غ}}$ الموازنة له كنسبة $\overline{\text{او}}$ الذي هو طول المستوى المائل الى $\overline{\text{ن و}}$ الذي هو ارتفاعه

واذا كانت قوة $\overline{\text{غ غ}}$ (شكل ١٩) اقضية لزم أن تكون $\overline{\text{غ غ}}$ التي هي محصلة قوتي $\overline{\text{غ غ}}$ و $\overline{\text{ع ح}}$ مارة بنقطة ح التي يماس الجسم فيها المستوى فيحدث من ذلك هذا التناسب وهو $\overline{\text{ع ح}} : \overline{\text{غ غ}} = \overline{\text{ع ح}} :: \overline{\text{م ن}} : \overline{\text{ن و}}$ اعني أن نسبة ثقل الجسم الى القوة الموازنة له تكون كنسبة قاعدة المستوى المائل الى ارتفاعه وهذه القضية السهلة يكثر استعمالها في علم الميكانيكا

ولنختم هذا الدرس ببذة مختصرة ملخصة من رحلتنا الى ابريطانيا الكبرى تتعلق بالقوة التجارية والطرق السلطانية اتينا فيها بالابد منه في سكك الحديد ذات الاخاديد والمستويات المائلة المستعملة في ابريطانيا الكبرى لانه لا مانع من ان هذه السكك والمستويات المائلة تكون عظيمة الجدوى في المعامل المعدة للصناعة بمملكة فرانسما فتقول

ان صناعة سكك الحديد ذات الاخاديد منحصرة في صورتين متباينتين تبينا كليهما احدهما أن يكون النقل حاصلًا على اتجاه واحد والثانية أن يكون على اتجاهين متقابلين

واسهل ما في الصورة الاولى أن ترفع الاحمال المعدة للنقل رفعا رأسيًا بواسطة الآلات حتى تصل الى رأس السكة المائلة وهو رأس لا يتجاوز العربات بل تأخذ في الهبوط عند الوصول اليه

فاذا كان المطلوب هبوطها لاجل توصيل احمالها الى التهرات او الخلبان او السكك الكبيرة سواء كانت المسافة كبيرة او صغيرة فانه بواسطة السكك المطروقة ذات الاخاديد يسهل النقل مع حصول الفائدة * والكيفية الناجحة في ذلك أن يعطى ما يلزم من الاخشاب للتجارة وللعمارات الداخلية التي تكون

في الاماكن المرتفعة البعيدة جدا عن النهر حتى يتأتى بواسطة السكك ذات
الاخاديد من غير احتياج الى كثرة الرياح الطيبة وصول تلك الاخشاب الى
الخلجان وعمومها فيها وهذا من الأغراض المهمة جدا في القوة والتجارة
البحرين وفي كثير من فروع الصناعة الفرجية

ثم ان اتفق الانحدارات واكثرها ملائمة للسكك ذات الاخاديد هو ما لا يمنع
العربات الموسوقة من اخذ تحرك منتظم بواسطة تأثيراتها الاخرى فاذا سار
القرس في هذا الانحدار وكان يجز قطارا من العربات لم ينجح في ذلك الا الى
القوة اللازمة للتغلب على الجسيمات التي يتقلها وبالوانع الصغيرة التي تحدث
عما يكون في سكة الحديد من الخشونة والتضاريس الهينة الخفيفة

وينبغي أن يكون عدد العربات الموسوقة التي يجزها القرس مساويا لعدد
العربات الكثيرة الفارغة التي يصعد بها على تلك السكة وعلى ذلك فكلما كبر
ميل السكة قل هبوط القرس بالعربات في كل مرة من سيرة ويؤخذ من ذلك
أن هناك انحدارا اتفق مما عدها من سائر الانحدارات وهو ما استعملت فيه
قوة القرس كلها صعودا وهبوطا بدون تلك الشئ وكلما تقلت العربات الموسوقة
لزم أن يكون الميل الذي يتبدى فيه بالهبوط بنفسها قليلا وأن يكون عدد
العربات الفارغة التي يصعد بها القرس الى هذا الميل كثيرا وحينئذ فاستعمال
العربات الكبيرة في هذه الصورة أكثر فعاوتم فائدة كعربات ضواحي مدينة
نوكاستل التي كل واحدة منها تحمل ٢٥٠٠ كيلو غرام ويزن ثقلها ١٠٥٠٠

كيلو غرام فهي اولى من عربات ضواحي مدينة جلاسغوف التي لا تعمل كل
واحدة منها الا ٦٠٠ كيلو غرام ولا يزن ثقلها الا ٣٠٠ كيلو غرام

ومندوق هذه العربات (اي عربات نوكاستل) على شكل هرم ناقص مربع
مخوف ومكشوف من اعلاه وعرض قاعدته السفلى ٦ ر ١ وطولها ٢

وطول قاعدته العليا من ٨ ر ٢ الى ٣ وعرض كل ضلع من اضلاعه

المائلة على الاقبح قدر ٤٥° تقريرا يبلغ ٦ و ١ و يوجد في عمق العربية
طاقة معدنة لتفريغ وسقها وهي موضوعة في طرف العربية المقابل للسفن التي
يراد سقها وعليها قدامان من الحديد لاجل سدها يدوران بواسطة اوب ويزنلان
على الواجحة المائلة التي تكون في مقدم العربية فيستبان هنالك برزتين
او مسارين معوجين فاذا اردنا غلق تلك الطاقة ادخلنا شوجية صغيرة
في حلقى الرزتين فاذا اخرجناها وخلصنا قديم الحديد انفتحت بسبب تأثير
وسقها واهبط ذلك الوسقين بحلاتها الاربع

وهناك طاقات في مقدم العربية ومؤخرها معدنة لربط حبل الشد بها اذا اريد ذلك
وقطر بحلات حديد الصب يبلغ ٦ او ٧ دسيترات وعرضها الافقي ١٥
او ١٦ دسيترا وبها انما داخل دائما في سكة الحديد وعرض السكة ١٤
او ١٥ دسيترا

ولنذكر الان جملة من خواص السكة ذات الاحاديد الشهيرة التي توصل الى
شواطئ نهر الوار بقرب سوندرلند فنقول

ان معدن الفحم الذي هو مبدأ تلك السكة بعيد عن المكان الذي ينزل منه الى
السفن بقدر ١٠ كيلوميترا تقريرا ولا يوجد في سائر امتداد هذه الارض
التي تقطعها العربية انحدارات عظيمة وانما كان هنالك تلال تعارض العربات
قليلا فاحدثوا بها مسلكا لاجل المرور وهذه السكة توصل الى ساحل مخدر
يكسفنهر الوار بواسطة جسرافتي متجهة الى الطبقة الاولى من مخزن متسع
مبنى في اعلى هذا الساحل وطول هذا المخزن تقريرا ٥٠ وعرضه من ٢٥

الى ٣٠ ويزيد ارتفاعه عن الاستواء المتوسط من مياه النهر باربعين مترا
فاكثر وهو مركب من ثلاثة اجزاء طويلة متفرقة عن بعضها باصفيين من الاعمدة
وكل من سطوح الطبقة الاولى الثلاثة يتصل به سكة من الحديد وكل سطح منها
يمتد من اول المخزن الى آخره وابواب المخزن على بعد واحد من بعضها مفتوحة

بين مساند الحديد الموجودة بهذه السكة فإذا اتت العربات موسوقة بالمعدن دخلت في الطبقة الاولى منه ثم نذهب الى المسطحات المستديرة المتعطفة التي كل مركز من مراكزها على سكة من سلك الحديد الثلاثة شمال ميلاً خفيفاً نحو الربع على تلك المسطحات المستديرة ثم يجزها العربي على السكك الطولية من هذه الطبقة حتى تصير مسامتة لاحد الابواب لاجل تفرغ الفهم المطلوب في اى مكان من الارض وكل جزء من الاجزاء الثلاثة الطولية من تلك الارض محتوي على سكة جديدة من الحديد مبدؤها اول المخزن ونهايتها نهر الوار ومن هذه السكك الثلاثة سكان يجتمعان عند اتصالهما عن المخزن ويصيران سكة واحدة وبعد ذلك يختلطان بالثالثة ويصير الجميع سكة واحدة ثم تقسم هذه السكة الى فرعين يختلطان ببعضهما قبل اتهاهما وبعد ان تصل العربات الموسوقة الى مبدأ الاتحاد تمر على قنطرة يبلغ انفرجها مائة متروهي مؤسسة على مجرى عميق ثم تجتاز صخرة يبلغ امتدادها اربعين متراً تقريباً وسكة الحديد في ذلك كله مركبة من قضبان مسجرة في عدة اخشاب كالشبايلك طولها عشرون متراً

والقنطرة المذكورة مخففة من الخشب ومؤسسة كما تقدم على المجرى وجامعة بين الصلابة والخفة وهي كناية عن صوامع مرسوقة في الارض غرساً راسياً ومن عوارض ومساند مائلة لتكون صلبة متينة وسطحها مركب من قطع طولية مقطعة باخشاب السفن القديمة الغير المستعملة

فإذا كانت احدى العربات صاعدة والاخرى هابطة تلاقيا في منتصف السكة وهذا اذا لم يكن هناك الا سكة واحدة واما اذا كان هناك مكان فان احدهما تسلك سكة غير التي تسلكها الاخرى حتى لا يتعارضا ثم تسلك كل واحدة منهما السكة التي تركتها الاخرى

ويختل المسافة التي بين السكتين لثبات محورها الا في عود على اتجاه السكة وبهذه الملفات جبل معتل لفظ العربات عند الهبوط واشدها عند الصعود وفي اسفل الطريق تصل العربات الى سطح فوق المكان الذي تكون به السفن

المطلوب ومقها غما ومنتصف سكة الحديد ثلاث فرجات وهي افواه اتعام
من حديد مائلة بقدر ٤٥° تقريبا

والجزء الاسفل من القمع يتحرك حول لولب افقى يضمه الى الجزء الاعلى منه
واما اثنا آت الجزء المتحرك فهي متعشقة باثنا آت الجزء الثابت وبذلك
لا يسقط القمع الى جهة اليمين ولا الى جهة الشمال ولا لجل غلق الجزء الثابت من
القمع يستعمل حاجز رأسى فيرفع او ينخفض اذا اريد ذلك بتأثير الرافعة وذلك
انه يوجد فى كل من طرفى القمع عيارات تؤثر من اعلى در برين من الخشب
قريب من سمت الحاجز واما الحبل المعدل لحفظ كل عيار فهو ملتف على اسطوانة
منجنون موضوع على الدر برين به يرتفع الجزء المتحرك من القمع او ينخفض
وبهذه الكيفية يوضع دائما الطرف الاسفل من الجزء المتحرك على بعد ملايم
للفرجة التى توسق منها السفن سواء ارتفعت السفينة بالمدا او انخفضت بالجزر

*(بيان المستويات المائلة) *

تطلق هذه المستويات على اجزاء السكة ذات الاتحاد العظيم المحتاج الى اعانة
الآلات لاجل صعود العربات او هبوطها وصناعة هذه المستويات مشابهة
لصناعة الاجزاء الاخرى من سكة الحديد ذات الاتحاد
ولنذكر كلك هنا طريقة ميكانيكية يعرف بها صعود العربات على المستويات
المائلة الموجودة بضواحي مدينة نو كاستل ييلاد انكتره فنقول

يوجد فى اعلى المستوى المائل مكان صغير مركب من حائطين احدهما عن يمين
السكة والاخرى عن شمالها وعليهما سقف وفى داخلهما تحت هذا السقف طارة
كبيرة من الخشب اقية موضوعة على شواح متعززة وبها حلق ملتف عليه
حبل ليس مفرط فى الطول بل بقدر المسافة التى تقطعها العربات الموسوقة عند
هبوطها او يوجد تحت هذا الحبل على محيط الطارة الحاجز المعروف بالزام وهو
اقرب شها بزام طواحين القليل الذى يمكن للانسان وحده أن يحركه بواسطة
رافعة وهذا الحاجز مربوط على ارتفاع لائق بسلاسل رأسية معلقة بشواحي
المكان المذكور ومضى وصلت العربات الموسوقة الى مبدأ الاتحاد ووجد العربى

هناك قرية فارغة قريبة منه جدا فيلحق حيث قد طرف جبل الشد الذي كان اعده لعود هذه القرية الفارغة ثم يفتت الجبال التي بها الطرف من يد الحديد الثابت خلف القرية الموسوقة المطلوب هبوطها وقبل تبين هذه الاعمال تأتي قرية فارغة من المحل الذي هو مبدأ السير الى اسفل الانحدار فيجد العربي هناك قرية موسوقة فينكحها ويربط بها خرسه ثم يربط جبل الشد في القرية الفارغة ويسير

فاذا انقضى هذا العمل دفع العربي بيده عربته الموسوقة فتأخذ في الهبوط على الانحدار فعند ذلك يصعد فوراً مع النشاط على احدى جهات هذه القرية قابضا على الرافعة المجهزة زماما لاحدى العجلات ويوجد في اصغر اطراف هذه الرافعة قوس دائرة من الخشب نصف قطره كنصف قطر العجلة التي يحتك عليها هذا القوس عند اعادة بطي سير القرية ومنع سرعتها فاذا وصل العربي الى اسفل الانحدار نادى باعلى صوته الوقوف الوقوف فعند ذلك يجرى المتووط بالزمام الاكبر هذا الزمام تحت المكان المتقدم ذكره ويجري ذلك في كل عربتين اسطاهما فارغة والاخرى موسوقة

وعلى ما ذكرناه من القواعد يلزم أن القوس المعدل جز العربات على سكة الحديد يبدل جميع قوته عند صعود عتده عربات فان كانت صورة الارض تقتضي تغير الانحدارات وتووعها لزم أن تعمل على وجه بحيث يكون ملائما لهذه العتدة وعلى ذلك فلا بد أن تكون سكة الحديد ذات الاخاذيد مركبة من خطوط مستقيمة يتألف منها مضع مستو ومن خطوط منحنية متحدة الانحدار في جميع طولها وحينئذ يمكن بواسطة التجارب الصحيحة أن تعين درجات الميل المتنوعة التي يلزم أن يكون السير بحسبها

ولاجل عدم ضياع الزمن بلا فائدة في ربط الخليل وحلها يلزم أن يكون لكل فرع ثابت الانحدار من سكة الحديد طول يكفي في تغير الخليل ولا بد أن يكون عدد الخليل المنعقدة للثقل على نسبة منعكسة من عدد العربات الفارغة التي تصعد هي بها ومن الزمن التي تستغرقه مدة التغير المذكور في حالتي الذهاب والاياب فهذه

الكيفية تقطع العربات المتعددة جميع فروع السكة في وقت واحد ولا تحتاج
 التحليل ولا العرجية الى التأتى السابق او اللاحق
 ويلزم مزيد الاهتمام وفرط الاعتناء في عمل سكة الحديد بحيث لا يحصل عند
 الصعود عليها هبوط الا اذا كان المحل يقتضى ذلك وطريق اجتناب هذا
 الهبوط الحاصل عند الصعود أن تقيم في الوديان الضيقة العميقة تخشيبات
 صلبة خفيفة على شكل القناطر الحقيقية ويصنع على سطحها الافق سكة الحديد
 ذات الاحاديد

ويسهل على تلك السكك على قناطره معلقة بسلاسل من حديد
 (وقد ذكر المهندس استوانسون ان البحارى الضيقة العميقة المتقاطعة فيما يصنعها
 من سكك الحديد يمكن اجتيازها بواسطة مربع من الخشب توضع عليه العربات
 فيسير بها الى جهة الامام بواسطة البكرات على طول المستوى المائل المركب
 من سلاسل او قضبان من الحديد ممتدة من احد شاطئى البحرى الى الآخر)
 واذا كانت الارض مرتفعة قليلا فانه يمكن عند اقتضاء الحال عمل سكك انفية
 او احداث اما كن لتغيير التحليل يكون انحدارها ثابتا وذلك اما بواسطة الحفر
 والردم بطريق مضبوطة لاجل اختصار طول الطريق واما بواسطة عمل
 انعطافات وتعاريج كثيرة يتحقق فيها شرط التصريف الاصغر في عمل السكة
 لتعلم فائدة النقل قبل حصوله ويجرى في هذه الصورة القواعد المقررة في غيرها
 من سائر انواع السكك

وهناك صورة تخص سكك الحديد ذات الاحاديد المعدة للنقل في اتجاه واحد دائما
 وهى انه بواسطة المستوى المائل يمكن رفع الاجال فوراً الى الارتفاع المطلوب
 الذى يعقبه هبوطها الى المحل المراد وصولها اليه على اقصر انحدار
 فاذا كانت كمية النقل الكلية واحدة في الذهاب والاياب لزم عمل الانحدارات
 على وجه بحيث تكون مساعدة للجهتين ويشترط في ذلك شرط لا بد من تحقيقه
 هنا وهو أن تخفض النقط العليا وتلطف المستويات المائلة من غير أن يكون
 ذلك سببا في طول سكة الحديد طولاً مفرطاً ولا في كثرة المصاريف وقد جرت

العادة بعمل سكتين متجاورتين من ذوات الاخايد احدهما للذهاب
والاخرى للاياب

ولتشرع الآن في الكلام على صناعة سكك الحديد ذات الاخايد فنقول انها
تقسم باعتبار اخايدها الى قسمين احدهما الترام وى او البلاوى وهو
ما تكون فيه الاخايد مسطحة ومركبة من قضبان من حديد الصب اى الزهر
وفوقها اثنا بارز على طولها من خارج وتحتها حرف بارز يكسب القضيب قوة
كافية لحمل ثقل عجل العربات من غير أن يعرض له كسر وذلك أن هذه العجلات
الاسطوانية تقف على الاخدود والقسم الثانى الادح وى وهو ما تكون
فيه الاخايد مجوفة ومركبة من قضبان متلاصقة غليظة ومستديرة من
اعلاها لانه يوجد في عجلات العربات حلق كحلق البكر يشبك به القضيب
من طرفه المستدير فاما الاخايد المسطحة فينشأ عنها مضرة عظيمة وهى ازدياد
الاحتكاك لزيادة مفرطة عند ملاقات الارض لان ما يتعلق بالعجلة من التراب
والرمل والحصى يتساقط ويقف في الاخدود المسطح واما الاخايد المجوفة
فلا يوجد فيها هذه المضرة فهى لعدم المانع قابلية لحمل الانتال الكبير وقدمته
على غيرها في الاشغال الجسيمة وعما يجرى العمل في بلاد غانة واما في ضواحي
مدينة نو كاستل فيستعمل فيها المسطحة كالمجوفة وقضبان الاخايد المجوفة
تتخذ من الحديد المطرق وعرض كل قضيب ٤ ستمتر وسهكه الرأسى الذى هو
اكبر من العرض دائما يكون مناسباً لموضع عليه من الاحمال وليست فائدة
الاخايد المجوفة هو مجرّد تخفيف الاحتكاك بل يضاف الى ذلك ايضا مقاومتها
للاحمال العظيمة وايس ذلك موجودا في المسطحة نظراً لصورتها ولكون موادها
قرباً للثاقب من الاولى

وتقدّر كماله هندس استوانسون ان السكة ذات الاخايد المجوفة التى تحمل
عربة بـ ١٠٠ ميلين تكون زنة حديد هاستين كيلوغراماً عن كل متر من
الاخدود المزروح بعد اقتضاء عمله ويكنى ايضا ما دون ذلك غير أن السكة
السلطانية يلزم أن تكون صلابه اخايدها بقدر الحاجة حتى لا تحتاج الى ترسيم

يؤدى الى زيادة اجرة العملة عن مقدارها الاول

ويكنى على ما ذكره المهندس علواس أن يكون طول كل قضيب من قضبان
الاخاديد المسطحة ٢٠ ر^م وأن تكون زنة كل قضيبين مع مسنديهما من
٤٠ كيلوغراما الى ٥٠ ويكنى ايضا في السكك ذات الاخاديد المحقوفة
المعدة لسير العربات الكبيرة أن تكون زنة كل قضيبين مع مسنديهما من ٤٠
كيلوغراما الى ٥٠ واما في المسطحة المعدة للنقل في عربات صغيرة تجرها
انسيول فيكنى أن تكون زنتهما مع المسدين ٢٥ كيلوغراما ويكنى ١٨
فيما اذا كانت تلك العربات يجرها العريجية

(وما ذكره هذا المهندس في تحديد طول القضبان يختلف باختلاف الاماكن
وانواع النقل وقد ذكر ايضا في رسالته المشعونة بالقوائد التي ألهاها في سكك
الحديد ما يفيد أن طول كل قضيب من قضبان سكك الحديد المحقوفة ٨٩
ستمترا وعرضه ٣٣ ملترا وأن تلك القضبان تمر بعوارض من الخشب
او حديد الزهر ثابتة او محمولة على بسطات من البناء وأن طول كل قضيب من
قضبان السكك المسطحة ٢ ر^م وعرضه ٨ ر^م في الجزء الذي يجري
عليه العجلة وسكك هذا الجزء يساوى ١٥ ر^م وارتفاع الاثناء ٥٤ ر^م
وسكك المتوسط ١٠ ر^م)

ثم ان احكام وضع هذه الاخاديد ومئاتها مما لا بد منه في السكك ذات الاخاديد
اذ بدون احكام وضعها ووراء محالها ينشأ عن الجهد الواقع عليها من محلات
العربات الموسوقة أن بعض المساند يغوص فيها بمقدار ٢ ستتر فقط فيكون
المقدار احد قضبان الاخدود في هذه الحالة بمقدار واحد من ستين فيلزم حينئذ
لاجل جر العربات حيب تكون السكة اقصية تضعيف القوة المستعملة

وقد كانت سكك الحديد ذات الاخاديد سابقا خالية عن الثمرة الحقيقية مع انها
كانت قابلة لأن يحصل عنها كثير من القوائد وذلك لان هذا النوع من السكك

كان متجاوزا الحد في الصعوبة (فان طبيعة الارض ورخاوتها بماله تأثير عظيم في صلابة هذه السكك) فقد صرفت مبالغ جسيمة في عمل مساند من الحجارة اللينة مع انها اذا وضعت على سطح الارض تكون عرضة لنشوع الحرارة والرطوبة

فلاجل جبر هذا الخلل اقتضى الحال أن تسند الاخاديد بالواح غليظة من الحديد الصلب الى الزهر وتجر اطراف اجزاء هذه الاخاديد على اطراف تلك الالواح

والظاهر أن منافع استعمال الحديد الزهر دون منافع استعمال الحديد المطرق فان الاخاديد المتخذة من الحديد المطرق ليست كالاخاديد المتخذة من الحديد الزهر في كونها عرضة للكسر عند ووب العرب و ملاقاتها لحصاة او حجر صغير يكون على الاخذود وقد شوهد منذ أكثر من ثمان سنوات سكة من الحديد المطرق معدة لاشغال تد القيل بإقليم كبرلاند وشوهد بها ايضا سكان من الحديد الزهر فكانت الاولى حسنة الاستعمال من جميع الوجوه وكانت في المصاريف دون السكتين الاخرين وقد جربوا مثل ذلك في ايقوسيا غير مرة فكانت النتيجة واحدة

وهانحن نبين عرض السكة المزودة ذات الاخاديد على مقتضى ما حسب المهندسين استوانسون في بعض مؤلفاته فنقول

الفرجة التي بين الاخذودين من ٣ الى ٦

المسافة التي بين السكتين ٢

جوانب المسالك الضيقة والمجاري والدروات وغير ذلك من ١٥ الى ٢٣

فيكون مجموع ذلك ١

ويمكن بواسطة وضع الاساس من الحجارة الصغيرة وسترها بالحصى عمل فرجة بين كل اخدودين واما السكة الضيقة المعدة لعمارة فانه يمكن تثبيتها بالحصى اورغوة المعادن او بالفحم المعرق او نحو ذلك على حسب طبيعة الاماكن

وهنا النوع ثالث من سكة الحديد وهو ما تكون فيه الاخاديد مسطحة بدون
 انثناء ولا بروز في بعض اجزائها وملصوقة بمنتصف السكة الاعتيادية
 او المبلطة فوق سطح تلك السكة ومثل هذا النوع لا يلائم الاحمال المستديرة
 من الحارات والازقة وغيرها من طرق المدينة السلطانية التي تتلاقى فيها
 العربات على اختلاف انواعها وعظمها في اتجاهات مختلفة وقد استعملت
 هذه السكة ذات الاخاديد بمدينة غلاسغوف في المستوى الاعظم ميلا
 الذي يوصل الى حوض خليج فورت اكليد على ميناء دونداس
 وهذا المستوى يمكن أن تصعد عليه الفرس الجيدة بنحو ثلاثة براميل وأن تجر
 عليه في مدة النهار نحو برميل ونصف

وقد اشتهر استعمال ما ذكرناه من الاخاديد المسطحة في السكة الكبيرة لاسيما
 في المستويات العظيمة الميل ولا بد في استعمالها من تقوية رايل عند الوصول
 الى تلك المستويات او تغريغ شيء من العربات لاجل عبور الجسور حتى
 يسهل النقل عليها كالسكة الاقضية الاعتيادية

وترى في شكل ٢٠ الرموز اليه هذه الاحرف وهي (ا) (ب) (ث)
 حاجر اموضوعا بهذا افتتات اخدود الحديد وتجد في شكل ٢١ سكة
 مزدوجة ذات اخاديد مع علامات العربات ومحاورها وفي شكل ٢٢ سكة
 مزدوجة ذات اخاديد تقطعها سكة اخرى

(الدرس الثاني عشر)

في بيان البريمة والاتواء والحبال والخابور وسائر الآلات
 التي من هذا القبيل

ينبغي لمن اراد أن يعرف هذا الدرس حق المعرفة أن يراجع الدرس الثاني عشر
 من الهندسة في الجزء الاول من هذا الكتاب لتعلقه بالخطوط والسطوح
 الخلزونية

ولابد أن نورد هنا على وجه الاجمال ما للخطوط والسطوح من الخواص
 الهندسية تذكرها الماسبق فنقول ان الخط البريمي او الخلزون الاسطوانى

هو كتابة عن خط متضمن مرسوم على محيط اسطوانة بحيث يحدث عنه في جميع امتداده مع اضلاع الاسطوانة زاوية واحدة فاذا كانت الاسطوانة موضوعة على وجه بحيث تكون اضلاعها رأسية حدث عن الخط البرمبي في جميع امتداده مع احد اضلاع الاسطوانة الرأسية زاوية واحدة ثابتة الميل فاذا فرضنا أن هناك خطا مستقيما ميل ثابت وتعتزل على طول الخط البرمبي ويحدث عنه مع هذا الخط المنحني زاوية واحدة دائما فانه يحدث عنه سطح حلزوني ويكون المستوى المماس لهذا السطح الحلزوني ما تلا بالنسبة للرأسي في سائر نقاط الخط البرمبي

واذا اريد هبوط جسم او صعوده على طول الخط البرمبي فانه يارتكاز هذا الجسم على السطح الحلزوني يعتزل كعتزل في طول المستوى المائل على خط مستقيم ميله كميل الخط البرمبي وهذا المستوى في الميل كغيره من المستويات المماسية للسطح الحلزوني

وليكن \overline{AM} ور (شكل ١) كتابة عن افراد الاسطوانة التي تصنع عليها برمجة مثلثية (شكل ٢) او مربعية (شكل ٣) فينفرد كل دور من الخيوط (شكل ١) على خط مستقيم طوله وهو $\overline{AB} = \overline{ST}$
 $\overline{AD} = \overline{AC}$ الخ ثابت

فاذا كان جسم من الاجسام الثقيلة عرضة للصعود والهبوط على احد هذه الخطوط كخط \overline{MM} مثلا وكان ذلك الجسم متوازنا بواسطة قوة افقية كقوة \overline{H} حدث هذا التناسب وهو نسبة قوة \overline{H} الى نقل الجسم كنسبة \overline{M} الذي هو ارتفاع خطوة البرمجة الى نسبة \overline{M} الذي يساوي محيط الاسطوانة المرسوم عليها خيط البرمجة

وحيث تقررت هذه المبادئ وجب أن نشرع في الكلام على كيفية استعمال البرمجة فنقول ان البرمجة يوضع في بيتها البرمبي الذي يوجد في داخله ما يوجد فيها من الاسطوانة والخيوط فتارة يثبت في البيت المذكور طارة ذات محامل

لتدويره كما تدور طارة المنجنون وتارة ثبت فيه رافعة او اكثر يكون لها شبيه
بفضبان المنجنون والمعطاف

وكاونا سابقا يكتفون بجعل رأس بيت البريمة مربعا ويعشقونه ببعضه بواسطة
مفتاح نجوى يه مربع كجويف البيت لاجل ادارته الى احدى الجهتين
(اي جهتي اليمين والشمال)

وهناك بريعات وبيوت تدور الى جهة اليمين (شكل ٢ و ٣)
(كما سبق في الدرس الثاني عشر من الهندسة) وهي اكثر استعمالا من غيرها
ويوجد ايضا بريعات وبيوت تدور الى جهة الشمال فلا يمكن تعشيق
بريمة دائرة الى جهة بيت بريمة دائرية اخرى تقابلها

وتم نوعان من البريمات وبيوتها احدهما بيت البريمة الثابت الوضع وهو
ما تقدم فيه البريمة تارة وتأتا اخرى بدورانها في ذلك البيت الذي لا يتقدم
ولا يتأخر لثباته وتكون القوة حينئذ ثابتة في احد طرفي البريمة وهذا الطرف
الذي جرت العادة بجعله مربعا يسمى رأس البريمة

وثانيهما البريمة الثابتة الوضع وهو ما تكون فيه البريمة مجبورة على الدوران
بدون تقدم ولا تأخر وانما يثبتها هو الذي يتحرك بطلولها
وفي هذين النوعين تكون القوة والمقاومة الموازنة لها على نسبة منعكسة من
المسافتين اللتين تقطعهما هاتان القوتان في زمن واحد كما في توازن المستوى
المائل الذي ينسب اليه توازن البريمة

ولكن اذا دارت القوة دورا كاملا حول المحور فانها تقطع محيطا نصف قطره هو
بعد المحور عن هذه القوة وحيث ان المقاومة مؤثرة بالتوازي للمحور فانها
تقطع في زمن واحد خطوة بريمة فاذاً تكون القوة مضروبة في المحيط الذي
تقطعه حول محور البريمة مساوية للمقاومة مضروبة في خطوة البريمة
وعلى ذلك كلما كانت خطوة البريمة صغيرة وكان ذراع الرافعة الذي تؤثر القوة
في نهايته طويلا يمكن حصول التوازن بين قوة مفروضة ومقاومة كبيرة
فاذا لم تكن البريمات وبيوتها محكمة الصناعة لم أن يكون في بعض احوالها

فراغ من البريمة ويثبتها وأن تطوى أو تقرب الخيوط المخرقة في البعض الآخر لاجل حصول التحرك فيلزم أن تكون الآلات المستعملة لصناعة البريمات من حيث صورها وتحرّكها على غاية من الضبط والاحكام
وإذا وقع على البريمة جهد قوة لاجل إبطال مقاومة حدث من هذا التأثير عليها وعلى يثبتها نوعان

فالنوع الأول منهما يتلف خيوط البريمة بواسطة قوة الضغط الحاصل بالتوازي للمحور وهي قوة مساوية للمقاومة الحادثة من البريمة سواء كان ذلك في حالة الدفع أو في حالة الجذب وهذه القوة تحمل الى عدة اجزاء يمكن اعتبارها كنقط تماس بين البريمة ويثبتها وجزء المقاومة المنقول الى كل من هذه النقط يكون على نسبة منعكسة من سطح الخيوط المعلوم مقدارها في صورة ما إذا كان عموديا على المحور وهذا السطح مناسب لبروز الخيوط في سائر طولها إلا أن هذا البروز لا يمكن زيادته بدون أن تكون الخيوط عرضة للكسر بادنى اصطدام فإن كان جانب هذه الخيوط مثلثا فاللائي عادة أن يكون من المثلثات المتساوية الاضلاع وان كان مستطيلا لزم أن يكون عرض كل خيط بقدر سمكه بمعنى انه يكون مربعا ثم ان نوعي البريمات السابقين يتمايزان عن بعضهما بكون خيوط البريمة في النوع الاول مثلثة (شكل ٢) وفي الثاني مربعة (شكل ٣)

وتصنع البريمات من الخشب اذا كان كل من الجهود والرافعة عليها والمقاومات التي تظهر بها تلك الجهود متوسطة بين الشدة والضعف غير أنه ينبغي لذلك انتخاب نوع من الخشب كالقبس والزان وخشب الكمنرى مما تكون اجزائه متحدة الاتحادا كافيا في سائر طولها ومثل هذه البريمات يسهل اشلام اطرافها وذلك ضرر عظيم لا يقع في البريمات المصنوعة من المعادن والبريمات المعدنية منفعة عظيمة وهي قابليتها لأن تحمل اى مقاومة كانت مع صغر حجمها

هذا ويشق علينا أن نورد في استعمال الآلات جميع عمليات البريمة على وجه التفصيل واتما نقول ان الغرض الاصلى منها احداث الضغط الشديد

كأفي البريمة التي يستعملها بجلد الكتب لضغط أوراقها
وكذلك البريمات الرافعة فإن الغرض الأصلي منها أيضا هو أحداث الضغط
المذكور ويوت هذه البريمات ثابتة وبممتدة على شكل الهرم الناقص المربع
الذي تكون قاعدته على الأرض وأما البريمات فهي متحركة بذراع أو ذراعين
من الرافعة (راجع شكل ٤)

وإذا كان المطلوب ضم جسمين صليين إلى بعضهما والصاقيهما الصاقيهما الصاقيهما
تتبعهما بسمار أو شحوة (شكل ٥) مما يكون له رأس بارز لأجل الامساك
وبعض ادوار من خيوط البريمة وهو السمار المعروف بالقوود
فإذا ادخلنا السمار في الثقب فقدم الجسمين المطلوب ضمهما وصار بمنزلة البريمة
التي في داخل بيتها ثم يغلّق هذا البيت بمفتاح مربع شبيه بالمفتاح الذي تقدم
ذكره في هذا الدرس ويمكن بهذه الكيفية ضم عدة عظيمة من قطع الأخشاب
المهمة سواء كانت من أخشاب الأشغال البرية أو البحرية
وتم بريمات خيوطها مرنة منفصلة عن بعضها كبعض يابات العربات المعروفة
بـ يابات القبط (انظر الدرس الرابع والخامس عشر)

ولامانع من أن تعتبر البريمة كاسطوانة مخرّسة معدة لإيصال الحركة إلى
الطارات المخرّسة وهو ما يعرف بالبريمة غير المتناهية
وتستعمل هذه البريمة في كثير من الآلات كالآلة المعدة لتحريك السفود
وربما التبتب بالمنخون والمعطاف وما شاكلهما

ويمكن ضم البريمة إلى الطارة المخرّسة ولصقها بها بواسطة التعتيق كأفي شكل ٦
وبهذه الوساطة تنتقل الحركة من محور س الموازي لمستوى المسقط إلى
محور آخر عمودي على هذا المستوى تدل عليه نقطة و
ولكن ف هي القوة الواقعة على ما قبله ش في طرف ذراع
رافعة ش و و هي القوة المتقولة بالبريمة غير المتناهية من م إلى
الطارة المخرّسة التي نصف قطرها ساوي م و و هي المقاومة المؤثرة
في طرف ذراع رافعة و ويحدث

اولا ف $\frac{\text{محيط مقطوعا بالمافيلة}}{\text{خطوة البريمة}} \times \text{ف وثانيا ر} = \frac{\text{م}}{\text{دو}} \times \text{ف}$

فاذن يكون $\text{ر} = \frac{\text{م}}{\text{دو}} \times \frac{\text{محيط مقطوعا بالمافيلة}}{\text{خطوة البريمة}} \times \text{ف}$

ومن هذا التساوي تؤخذ النسبة بين القوة والمقاومة

والنوع الثاني من نوعي التأثير الواقع على البريمة وبينها من القوة والمقاومة هو ما يحدث عنه التواء البريمة وبينها ولأجل الوقوف على حقيقته نفرض عدة منشورات متساوية كالالياف النباتية التي يتركب من مجموعها شجرة اسطوانية ونفرض أن المطلوب التواء هذه الاسطوانة فتوقع على نهايتها قوتى **ف** و **ف** (شكل ٧) العموديتين على اتجاه الالياف والدائرتين في جهتين متقابلتين فاذا لم تكن الاسطوانة صلبة جدا وكن لا يوجد في الالياف صلابة تامة فانه يقع عليها تأثيرها تين القوتين فتدور إحدى قاعدتيها من الجين الى الشمال والاخرى بالعكس ونفرض ايضا أن مقاومة الاسطوانة المذكورة واحدة في جميع طولها وزيادة على ذلك نفرض عدة قطاعات متنوعة حاصلة من مستويات موازية للقاعدتين وأنها على بعد واحد من بعضها فيكون دوران القطاع الاول بالنسبة للثاني في زاوية يكون فيها دوران الثاني بالنسبة للثالث والثالث بالنسبة للرابع وهكذا وعلى ذلك فالقط التي يتكون منها في جبد الأهر ليف قائم على كل قاعدة يتكون منها ايضا خط حلزوني بواسطة ما يكون القوتين المؤثرتين في جهتين متقابلتين من التأثير الواقع على قط مختلفة من طول الشجرة الاسطوانية ويعرف هذا التعاكس بالتواء فاذا لم تكن الالياف متلاصقة بل ترحلت عن بعضها او كان لا يمكنها الا الاحتكاك كان التواء الاسطوانة المتكونة من مجموع الالياف كالتواء الذي يحدث في صناعة الحبال

فان قيل ما مقدار المقاومة التي تعرض للتواء من الاسطوانات المختلفة انظر التجانس المأداة فاجواب اننا نفرض حل هذه المسئلة اسطوانتين

رفيعتين جداً متساويتين في الرفع والاولى أن يقال متحدتين في السمك الصغير
جداً ومختلفتين في القطر مع اتحادهما في الطول ونوقع عليهما في مستوى
قواعدهما قوى عماسة لهما تديرهما الى جهات متضادة فيحصل بذلك
التواءهما ويلزم اتحاد القوة في زاوية واحدة من الزوايا الحادثة من التواء
الالياف المتجهة على اضلاع الاسطوانتين ليحصل الالتواء في الالياف التي
تجتمعها واحد ويكون عدد تلك الالياف مناسبة لمحيط القواعد فيلزم اذن
استعمال القوى المناسبة لمحيط القواعد وانصاف اقطار الاسطوانتين
ليحصل التواءاتين الاسطوانتين المحرقتين الرفيعتين جداً بحيث لا يحدث عن
اليافهما واتجاهاتهما الاصلية الا زاوية واحدة

فاذا فرضنا عمودا اسطوانيا غير مجوف وتوهمنا أنه مقسوم الى اسطوانات
محرقة متصلة السمك والمركز فرضنا أن التواءها واحد بحيث تكون كل نقطة من
نقطتها الموجودة في القطاع العمودي على المحور باقية على وضعها الاصلى
سهل عليك بعد حصول الالتواء أن تعرف أن الزاوية الحادثة من الالياف
مع اتجاهاها الاصلية مناسبة لبعدها هذه الالياف عن المحور وبهذا الالتواء
يحدث عن كل ليف لاجل حل التواءه جهد مناسب لنصف قطر الاسطوانة
المحتوية على هذا الليف وهذا الجهد ناشئ عنه بالنسبة للمحور بواسطة ذراع
رافعة مساو لنصف القطر المذكور فينبأ على ذلك تكون القوة التي يلزم
استعمالها في التواء كل ليف مناسبة لمربع بعدها عن المحور وينتج من
ذلك أن القوة الكلية التي يلزم أن يكون للأسطوانة بدرجة من الالتواء
مأخوذة وحدة تكون مناسبة لمجموع مقادير ايترى قواعدها بالنسبة
للمحور بمعنى انها تكون مناسبة لسطح قاعدة الاسطوانة مضروبا في مربع
نصف القطر فاذا كانت انصاف الاقطار هي

١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	الح
١	١٦	٨١	٢٥٦	٦٢٥	١٢٩٦	٢٤٠١	٤٠٩٦	٦٥٦٣	١٠٠٠٠	الح

دالة على نسبة القوى التي بها يمكن محصيل درجة واحدة من الالتواء

لاسطوانات متنوعة لها طول معلوم بين القوتين التي تؤثر فيها لاجل التواءها
 وإذا فرضنا اسطوانتين مختلفتين في نصف قطرهما الرموز اليهما برمزى
 ر و ر (شكل ٨ و ٩) وواقعا على احدهما قوتا ف و ف
 المتساويتان وعلى الاخرى قوتا ف و ف المتساويتان ايضا لاجل
 حصول الالتواء فيهما بحيث ان بعدى هاتين القوتين وهما م غ و م خ
 متساويان حين يكون

ف : ف :: مسطح م غ ضه : مسطح م ن ضه × ر : ر
 تكون زاويتا الالتواء وهما م و و م و ن متساويتين لان و و
 هما مركزا القاعدةين فاذن يحدث هذا التناسب وهو
 م : م :: م ن : م ن :: ر : ر

فاذا جعلنا م ن = م و لو لنا الاسطوانة اللغليظة حتى نوصل ليف
 خم الى خ ن حدث من هذا الليق مع اتجاهه الاصلى وهو م خ
 الزاوية التي تحدث من ليف غ م مع اتجاهه الاصلى وهو م غ ولنكن
 ف هي القوة التي لا بد منها في التواء الاسطوانة الكبيرة على اتجاه خ ن
 فيحصل هذا التناسب وهو

ف : ف :: م ن : م ن :: ر : ر ويؤخذ من ذلك ان
 ف = ف × ر

ولكن ف = ف × مسطح م غ ضه : مسطح م ن ضه × ر

فاذن يكون ف = ف × مسطح م غ ضه : مسطح م ن ضه × ر

فاذا كان ميل غ م يكتفى في التحلل او اتصال الياف الاسطوانة
 الصغيرة من بعضها فيحصل على الاسطوانة تأثير واحد من ميل خ ن الحادث

من قوة ف فاذن تكون قوتان و ف الحادث عنهما انفصال
الاسطوانتين المحتلقتي القطر من بعضهما مناسبتين لمسطح القاعدتين مضروبا
في نصف قطرهما وهذا الحاصل في غاية الاختصار
ومتي عرفت المقاومة التي تقبلها الشجرة الاسطوانية في بعد معين سهل عليك
دائما بواسطة النسب المتقدمة حساب المقاومة التي يقبلها ما مائلها من
الاسطوانات الاخرى في ابعاد اخرى ولا يخفى ما لثل هذا الحاصل من الاهمية
في تعيين ما يلزم من الابعاد لاعددة الآلات كاعدة المصنوع والمعطاف والسهم
الذي يستعمل في نقل قوة الآلات الادروليكية والبضارية وغيرها وليس لقوة
التواء الاخشاب حالة واحدة بل تتغير على حسب حالة الخلق وطبيعة كل نوع
من الاعددة الاسطوانية ففي زمن الرطوبة تقاوم الاخشاب الالتواء مقاومة
عظيمة بخلاف وقت القيقط واليبوسة فان القوى بتأثيرها تغيرها على الالتواء
ومثل هذا الامر المخالف لما يتصوره الانسان قد ثبت بتجاريب عديدة علمت
في شأن التواء الاخشاب تركها هنا خوفا الاطالة

(بيان التواء الحبال)

لابأس أن نورد في هذا المقام ما يشهد لذلك من العمليات المهمة الحادثة
من خواص الحارزونات فنقول
قد سبق لك في الدرس الثاني عشر من الجزء الاول أن كلا من الخيوط التي
يتركب منها الحبل يكون بواسطة الالتواء منتنيا انثناء حارزونيا وأن محور
هذه الحارزونات هو عين محور الحبل اعني الخط الذي يكون في جميع طوله
على بعد واحد من محيط الحبل المفروض مستقيما وجميع الخيوط التي على بعد
واحد من هذا المحور لها طول واحد من القطوعين العموديين على المحور
بخلاف الخيوط المختلفة البعد من المحور فليس لها طول واحد بل يزداد بازدياد
البعد عن ذلك المحور ولاجل الوقوف على حقيقة ذلك نفرض أن ا ب ش د
و ا ب ش ك و ا ب ش د الخ (شكل ١٠) مستطيلات
تكون فيها اطوال ا د و ا ك و ا د بالنسبة الى ارتفاع ا ب

المساوي لارتفاع الخطوط المشتركة بين الخيوط الحلزونية كناية عن طول محيطات
الطبقات المختلفة من الخيوط التي هي اجزاء الحبل فاذا مددنا من نقطة ب
خطوط ب د و ب د و ب د الخ المائلة كانت هذه الخطوط
كناية عن طول اجزاء الخيط الحادث منه دور ب كامل حلزوني على المحيطات
الموجودة في الالتصاقات وهي د و ك و ك الخ وهذه الخطوط
المائلة كلها غير متساوية وتزيد في الطول عن بعضها بازدياد بعدها عن خط
ا ب العمودي على ا د واذا اخذت من مبدأ الامر عدة خيوط متوازية
ولويتها كلها دفعة واحدة جاريا في ذلك على الطريقة القديمة مع منعها عن
التحلق على بعضها لزم انطواء الخيط المركزي وهو ا ب وامتداد خيط
المحيط الخارج وهو ب د بحيث يصير جزا الخيط المتحدان في الطول بين
قطاعي ا د و ب د كناية عن ا ب و ب د ولاجل حصول
التوازن بين الخيوط التي يتركب منها الحبل المصنوع بموجب الطريقة القديمة
وابناء ذلك الحبل على صورته يلزم اقولا انطواء بعض اجزاء الخيوط الداخلة
وثانيا امتداد جميع الخيوط الخارجة وماجاورها وثالثا موازنة مقاومة المتد
لمقاومة الانطواء.

ولنفرض حبلًا مصنوعًا بهذه المنابة يكون مشدودًا بهوتين واقعتين على طرفيه
فيكون تأثيرهما فيه كناية عن مده وحيث ان الالياف المركزية منطوية
فانستعمل من القوى حيث تدعو به تلك الالياف الى حالتها الاصلية وهذه
القوى لا تعرض لها مقاومة من الخيوط فلذا كانت تتقوى بالانطواء فلا يبقى
حيث تدما يقاوم تد الحبل الا الالياف الخارجة وماجاورها
فعلى ذلك ليس في صناعة الحبال بموجب الطريقة القديمة ما يماوم المد
والانقطاع الاجزاء واحدا من خيوط كل حبل وذلك لعدم استواء هذه الخيوط
في المقاومة فانها اذا لم تقبل من المد الدرجة معينة فان الخيوط الموجودة
خارج الحبل تصل الى تلك الدرجة بواسطة تأثير قوى جديدة وتقطع قبل أن
تبلغ الخيوط الداخلة النهاية في المتأومة واذا انقطع الخيوط الاولى الخارجة

انقطع حيثئذ الطبقة البعيدة عن المركز وسرى ذلك الى ما بعدها حتى يصل الى مركز الحبل

ومعرفة المقاوامات المتوالية تعرف القائدة المترتبة على جعل الخيوط التي يتركب منها الحبل ممتدة بالسوية عند صناعة هذا الحبل وبهذه الطريقة تكون سائر الخيوط مقاومة للمدد دفعة واحدة ويؤخذ من ذلك أن هذا التأثير يشتمل بقدر غلظ الحبل حيث أن هنالك فرقا كبيرا بين مد الخيوط الخارجة والخيوط الداخلة

وهذه القاعدة هي التي جرى عليها الانكليزي في عمل الآلات الجديدة المعدة لصناعة الحبال ونحن اقول من اشهر هذه الآلات بمملكة فرنسا سم سلاك مهرة المهندسين الفرنسيين في صناعتها طرقا متنوعة اخترعوها فترتب على ذلك نتائج عظيمة لها اهمية في فن التجارة الفرنسية

فن ذلك ما صنعه كل من المهندس البارون ليرو وهويرت في مينتي بريست ورشوفورت من الآلات التي بواسطتها كانت الحبال المصنوعة اقوى وامتن من الحبال القديمة فبذلك صارت ادوات السفن خفيفة وبجعل القوة في تلك الحبال واحدة يمكن تقبض اقطارها فتتقص ابعاد البسكات المعدة لتحصير كرها واستعمالها وبذلك تصير صواري السفن خفيفة جدا هذا وما نؤمله أن مينات التجارة الفرنسية تؤثر في صناعة الحبال الطرق الجديدة المذكورة وترجحها لانها جامعة بين فائدتى الوفرة والمتانة

*(بيان الخابور) *

الخابور مفشور مثلثي يؤثر بصلعه القاطع وهو **ه ف** (شكل ١١) ليفصل بين جسمين او جزئين من جسم واحد ويعرف هذا الصلح بهذا الخابور القاطع واما واجهة **ا ب ث د** المقابلة للعد المذكور فتعرف برأس الخابور ويطلق اسم الجهتين على واجهتي **ا د ه ف** و **ب ث ه ف** اللتين على يمين الخد القاطع وشماله

ويستعمل الخابور في كثير من الفنون لقطع الاجسام او شقها فان السكاكين
الفرجية والمقاريض والسيوف والبلطخاوير مستعملة دائما في زمن
السلم والحرب وكذلك الفارات والشفرات او الكوازم والمعازق والمجارف
والقاسات ونحوها وبالجملة فان الخابور من اهم الآلات المعتدة للشغل
وليكن خابور ابث (شكل ١٢) هو الذي يدفع بواسطة قوة ح
نقطة ه المسكة بقوة واحدة قوة غ ونقطة ف المسكة بقوة
واحدة قوة ك والمطلوب الان معرفة شروط التوازن في ذلك فيقال
على اي وجه كانت قوة ح متى لم تكن قوتا غ و ك عموديتين
بالتناظر على ضلعي الخابور وهما اث و بث فان تقطعي ه و ف
يتزحلقان على طول هذين الضلعين وبذلك يحتل التوازن فاذا تكون اولا
قوة غ عمودية على اث و قوة ك عمودية على بث وثانيا
يلزم لاجل حصول التوازن بين قوتي ح و ع و ك الثلاثة
المؤثرة في خابور ابث أن تكون مجتمعة في نقطة واحدة كنقطة و
وأن تعتبر احداها محصلة للآخرين فاذا رسمنا على و غ و و ك
و و ح الممتدة شكل و ح غ المتوازي الاضلاع تحصل معنا
هذا التناسب وهو

قوة ح : قوة غ : قوة ك :: و ح : و غ : و ح
وهذا هو شرط توازن الخابور

وحيث ان اضلاع مثلث و ح غ الثلاثة عمودية بالتناظر على اضلاع مثلث
ابث الثلاثة يحدث اذن هذا التناسب وهو

قوة ح : قوة غ : قوة ك :: اب : اث : بث
فاذا كان ضلعا الخابور وهما اث و بث متساويين (شكل ١٣)

لزم أن تكون مقاومة غ و ك المتساويتان لهذين الضلعين متساويتين
ايضا كما هو الواضح في اغلب العمليات وعليه فاضلاع السكاكين والبلط
والسيف من حيث هي متماثلة وحيث تكون نسبة القوة للمقاومة الحاصلة
لاجل دفع كل ضلع كنسبة عرض رأس الخابور الى طول الضلع
وكما كانت الخوابير حادة كانت اضلاعها طويلة بشرط بقاء رأس الخابور
على حالة واحدة وكان ايضا الرأس ضيقا بشرط بقاء الاضلاع على حالة واحدة
فلذا كان يمكن حصول التوازن بين قوة مفروضة ومقاومة كبيرة بقدر ما يكون
الخابور حاداً وكان ايضا يكتفى في ابطال مقاومة مفروضة قوة صغيرة
بقدر ما يكون الخابور ساداً

واذا وقع على قطعة هـ او ف قوتان بدلا عن قوة هـ غ او ف ك
لزم أن تكون محصلة هاتين القوتين عمودية على احدى واجهتي ا ب
و ب ث المتقابلتين وحل هذه المسئلة الجديدة على غاية من السهولة
وذلك بأن نصل بين هـ و ف (شكل ١٣) اللتين هما تقطعا وقوع
مقاومتي هـ غ و ف ك بمستقيم غ هـ ف ك ثم نسط هـ غ
و ف ك على هذا المستقيم بعمودي غ غ و ك ك فيكون
 هـ غ و ف ك هما القوتان المبعدتان لنقطتي هـ و ف عن
بعضهما

ومتى كان ضلعا ا ب و ب ث متساويين (شكل ١٣) كانت مقاومة هـ غ
و ف ك متساويتين ايضا ويحدث من خط هـ ف و واتجاهي هـ غ
و ف ك زاوية واحدة فاذن تكون مقاومة هـ غ و ف ك
الجانبيتان متساويتين

واذا فرضنا زيادة على كون قوة ح (شكل ١١) عمودية على الحد
القاطع وهو هـ ف أن الخابور تدفعه قوة خ الموازية لهذا الحد

فان ذلك الخابور من حيث وقوع تأثير قوة ح عليه يغوص ومن حيث

وقوع تأثير قوة خ عليه يترك في جهة الحد القاطع

وبهذا تعرف القضية النظرية المتعلقة بالاجسام المتواصلة الاجزاء المتنوعة
تواصلاتاً وان لم تثبت لها هذه الخاصية بالنظر لنفسها وطبيعتها فيلزم أن تعتبر
تضاريسها الصغيرة جداً التي لا تدرك غالباً بمجرد النظر كالخوابير الصغيرة البارزة
الفائضة في سطح تلك الاجسام

فاذا ضغطت الخابور على جسم يقبل الضغط كثيراً او قليلاً فان هذا الجسم
يقع عليه تأثير الضغط وتزداد المقاومة كثيراً حيث بها تكثر نقط تماس الخابور
بالجسم المذكور

واذا زلحق الخابور الغير المصقول على الجسم صار كاذكنا كل تضريس من
تضاريس سطحه بمنزلة خابور مستقر يغوص في ذلك الجسم مع حصول
القائدة التي تحصل من القوة للمقاومة سواء كانت صورة هذه التضاريس
حادة كثيراً او قليلاً فاذا تكون القوة المستعملة في ذلك مع الفائدة كناية عن
قوة عمودية على اتجاه الحد القاطع تدفع الخابور وقد دلت التجربة على اهمية
هذه الفائدة العظيمة في كثير من اشغال القنون

ويتضح ما ذكرناه بالا لآلة المنتظمة التضاريس انتظاماً تاماً بواسطة الصناعة

وهي المشار بان قرض لوحاً معدنياً كلوح أ ب ش د (شكل ١٦)

يكون ضلعه وهو ش د مصنوعاً على وجه بحيث تكون زواياه

وهي أ و أ و أ الخ متساوية ونستعمل بالتعاقب قوتي ح و ر

المتساويتين لاجل شد المشار ودفعه على جسم م ن واما القوة الثالثة

وهي قوة ح التي هي في الغالب كناية عن ثقل المشار فان تأثيرها يكون

على اتجاه عمودي وهذا المشار كناية عن الخابور المركب الذي يستعمل في نشر

الاخشاب والمعادن وكثير من الاجسام الاخرى

واذا اريد قطع هذه الاخشاب او المعادن بنشار ثابت واقع عليه تأثير ثقل

عظيم جداً كمنشار آب شد (شكل ١٦) امتثال تقسيمها وتعدو
 مالم توصل الى ذلك يذل مجهودات خفيفة بأن يحرك الجسم تحركاً متردداً
 يضاهي تحرك المنشار

وليست صورة الزوايا البارزة السمة بالأسنان المنشار المرموز اليها بحروف
 آ و آ و آ متعددة بل تتنوع في شكل منشار بحسب طبيعة الاجسام
 وصلابتها

فاذا كان المراد نشر اجسام صلبة جداً وجب الاهتمام بجعل الاسنان صغيرة
 ومتقاربة من بعضها وجعل كل واحدة منها معدة لأن ترفع في كل حركة من
 حركات المنشار جزءاً صغيراً من الجسم الصلب واما اذا كان المطلوب نشر اجسام
 دون ذلك في الصلابة فانه يلزم جعل ابعاد الاسنان كبيرة وجعل صورتها على
 شكل مخن كما في شكل ١٧ عوضاً عما هو الغالب من جعلها على شكل مثلث
 مستو وليس للمنشار المعد لنشر الحجر والرخام (شكل ١٥) اسنان
 اصطناعية بل هو كناية عن صفيحة من فولاذ نشد وتدفع على الكتلة التي يلزم
 نشرها ويقوم مقام الاسنان رمل معدني احرفه الحادة تعمل على الخواير *
 ويستعمل في نشر حجر الصوان السنفرة بدلا عن الرمل ولا يشترط أن تكون
 صفيحة المنشار شديدة الصلابة وربما كانت من الحديد الخام وعلى ذلك يمكن
 ادخال الرمل والسنفرة الى حد المنشار القاطع بوجه مستحسن
 ولا يقتصر في الخواير المضروسة على جعل حدها القاطع مستقيماً بل قد يكون
 مستديراً وقد يكون على شكل منحنيات متنوعة

ومحيط المناشير المستديرة (شكل ١٨) مملوء بالاسنان فهي بذلك شبيهة
 بالمناشير المعدة لنشر الاجسام الصلبة جداً (شكل ١٦) وبالمناشير المعدة
 لنشر الاجسام التي دونها في الصلابة (شكل ١٧) ولا بد في صنعها من
 مزيد النشاط والمهارة في سقاية المعادن المتخذة هي منها وليس هذا محله وفي
 العادة تصنع المناشير الصغيرة المستديرة من صفيحة من الفولاذ مركبة على
 محور من الحديد

وأما المناشير المستقيمة فينشأ عنها ضرر دون غيرها من الآلات التي تختص بها
متردد وذلك أنها في حالة رجوعها يكون زمن تلك الحركة خاليا عن الفائدة
بخلاف المناشير المستديرة المستمرة التأثير في جهة واحدة فان زمن الحركة فيها
لا يخلو عن الفائدة

ويشترط في المناشير المستديرة أن تكون شديدة السرعة في الدفع حتى نعظم
فائدة تأثيرها وليلاحظ حيقظ أنه يكفي ضغط الجسم المراد نشره قليلا على
المنشار حتى يحصل النشر مع غاية السرعة والسهولة ثم ان محاور المناشير
المستديرة تكون موضوعة بالتوازي للسطح الافقي من التازجة ومعشقة بها
بحيث يكون مستوى المنشار عمودا على مستوىها فاذا اريد عمل منشورات
تكون جميع واجهاتها عمودية على بعضها فان قطع الخشب المطلوب نشرها
توضع على وجه بحيث تكون احدي واجهتيها وهي المجهزة للنشر متحركة
على مستوى التازجة والاخرى متحركة مع حاشتها الدليل ثابت مواز لمستوى
الطارة على بعد لائق وبتقديم قطعة الخشب المراد عملها يظهر بالبداهة أن
مستوى المنشار يرسم فيها قطاعا موازيا للواجهة المستوية المستندة على
الدليل فاذا تم عمل هذه الواجهة طبقت على الدليل وصارت واسطة في عمل
واجهة اخرى من القطع المراد نشرها وتتوصل بهذه الطريقة الى عمل
منشورات مرعبة او مستطيلة معلومة السمك ولا يخلو هذا العمل عن الفائدة
الثامة اذا اقتضى الحال عمل عدة منشورات متصلة بالجسم

ولامانع من استعمال المناشير المستديرة في الترسانات البصرية والطوبجية وسائر
ورش الصناعات مع الفائدة وقد استعملت هذه المناشير في مملكة فرنسا
وكنيت اقل من قتلها اليها من مملكة الانكليز

ولابأس أن نذكر هنا على سبيل الاختصار المناشير الكبيرة المستديرة المعدة
لنشر خشاب الطبق كخشب الكايلي فنقول المنشار الكبير المستدير عبارة
عن طارة قطر هاستة امتار تقريبا متحركة من فصاليب رفيعة جدا في الجهة
العمودية على مستوى المحور وعريضة جدا في جهة هذا المحور مبتدأ منه

واخذة في تناقص عرضها شيئاً فشيئاً كلما قربت من محيط الطارة وهذا المحيط
محاط بعدة قسي من صفائح الفولاذ مزرسة يتكوّن من تواصلها المنشار
المذكور ثم ان تلك الطارة تتحرك بواسطة آلة بخارية وتكون كتلة خشب الكابلي
مثلاً المطاويب تشرها مثبتة على عربة تكون سرعتها المتزايدة مناسبة لسرعة
الطارة وكلما دارت هذه الطارة غاصت في الكتلة وفصلت عنها جزءاً من سمكها
يبلغ ٢ ملليمتر تقريباً وينشئ هذا الجزء قليلاً بجزء انفصاله بحيث يكون
على شكل محدّب حادث من سطح دوران مركب من صفائح معدنية او الواح
خفيفة مثبتة على تصاليب الطارة وبهذه الطريقة تشر اجزاء الطبقات التي
عرضها غالباً مترو نصف تقريباً واعظم مناسير هذا النوع هو منشار المهندس
برونيل الذي صنعه في معاملته التي في باترسى قرياً من مدينة لندن
وكثير من الآلات ماهو في الحقيقة مناسير وذلك كلنا جل والمفاصل والمبارد
وكيفية عمل المناجل والمفاصل (شكل ١٩ و ٢٠) أن يصنع محيطها
وهو **أ ب ث** على وجه بحيث يكون له تضاريس واسنان هي كناية عن
خوابير متقاربة من بعضها بالكلية ويحدث من حدها القاطع مع المحيط
زاوية واحدة في سائر جهاتها فكل قبضة من الزرع المحسود والحشيش
اليابس قابلت الا لة تقطع من سمكها بواسطة الاسنان المذكورة فاذا كان
التحرك سريعاً جداً اخذت المقاومة في التناقص بحيث تقطع العيدان النباتية
وهي **ب** بدون تكسر والاوجب أن يذل في قطعها قوة عظيمة بتعريان
الالة عمودياً على محورها ولا يخفى ما في هذه الحالة من المشابهة البيئية بين تأثير
المخيل والمقص والمشار المستدير

وقد صنعوا من هذا القبيل سيوفاً حدها القاطع ذو اسنان وتضاريس وهي
اسلحة قطعية عظيمة التأثير لا تلايم الا اهل التبرير والخشونة
وما يسمي عند اهل المشرق بالسكاكرية له تأثير كثر في المنشار المستدير فترى
الرجل من اهل آسيا يدا عن كونه يطعن بها عمودياً على حدها القاطع يقبض
عليها ويجعلها على اتجاها يدهم حتى تصل الى الشيء المراد قطعه وتجرحه فعند ذلك

نغوص في الجرح اسنان الحد القاطع على التوالي فيكون تأثير تلك الاسنان
الخاصة كآثار اسنان المنشار فلذا كانت جروح الشاكرات بهذه الطريقة
أعمق وأعرض عما اذا كانت حاصلة من الطعن بالحد القاطع طعنا عموديا على
السطح المراد قطعه

واما المبارد والمحكات (شكل ٢١ و ٢٢) فهي كناية عن سطوح
مضرسة لها اسنان كالخوابير الصغيرة المتساوية التي تكون عادة مستوية الوضع
اي مصنوعة على ميل يحدث منه مع محور المبرد او المحك زاوية تبلغ ٤٥
درجة فاذا تقدم المبرد او تأخر على سطح الجسم المراد صقله حدث على ذلك
السطح من الخوابير سوز متساوية يعقبها ملوسة السطح وصقلته في رأى العين
وذلك لشدة تواصلها وتلاصقها ثم ان الاولى في استعمال المبرد ما كان له اسنان
كثيرة وصغيرة جدا اذ به ينقص بالتدريج عرض وعمق الحزوز التي تحدث على
سطح الجسم المطلوب صقله حتى تكثر ويقل عمقها بحيث لا يمكن ادراك التجويفه
بواسطة البصر فعند ذلك يظهر للنظر ان السطح المبرود على غاية من الصقالة
ومما ينبغي التنبيه عليه ان المبرد لا يتوصل تأثيره في جهة واحدة بل ينتقل
بالتدريج على سطح الجسم المراد صقله في اتجاهات مختلفة وبذلك تتقاطع
الحزوز وتزول خشوتها

واما اذا كانت اسنان المبارد والمحكات ليست على بعد واحد من بعضهم فلا
يمكن ان تعقل سائر اجزاء سطح الجسم القروض صقلا مستويا فلا بد
في جودة الصقل من ان تكون المبارد والمحكات محكمة الصناعة وه متظمة
انتظاما هندسيا

ومما ينتظم في سلك المبارد والمحكات الكردات وهي عبارة عن خوابير متفرقة
عن بعضها وطويلة جدا ومتوازية ولها شبه باسنان المبارد التي على وضع
مستو ولكن ليس القروض منها الصقل وازالة ما في سطح الجسم من الخشونة
وانما تستعمل لنظم الخيوط في اتجاهات معينة وتدخل في التسيج غير المنتظم
المحدث من هذه الخيوط فتقسمه الى خيوط رفيعة جدا ثم تنظم تلك الخيوط

بواسطة تأثير ضغط خفيف

والشئفة المعدة لتسريح الصوف السماة عند العامة بالشيخة تأثير كذا تأثير الخواير
ومن هذا القبيل أيضا الخدايد التي تطمر بها الخيل وهي مركبة من عدة صفائح
مستنة متجهة بالتوازي لبعضها ومتحركة بقوة مشتركة وكذلك المشط المعد
لترجيل الشعور وتسريحها واما محركات السكر (شكل ٢٣) والقرش
والقشاش فتأثيرها كتأثير المنشار وذلك كالخرق المعد لحك الامتعة وتكميل
مقل السطوح

وكذلك المسقة والمجرفة فتأثيرها مشابه لما ذكر في تنظيم سطح الارض * وهذا
ولم نستوف جميع آلات هذا النوع

ويستعمل في مقل محصولات الصناعة اجسام متركبة بالطبع من اجزاء
صغيرة هي في الحقيقة خواير حادة وصلبة جدا فن ذلك حجر الخرفش وحجر
السن فانهم معدان لمقل السطوح ويزيد الثاني اى حجر السن باختصاصه
بسن الآلات القاطعة وما يوجد بسطحه المتبولوج من الخواير العديدة يستعمل
في اصطناع السطوح الكبيرة المتواصلة من الآلات القاطعة وهناك اجزاء
سطحها الاصطناعى مستوي واخرى سطحها الاصطناعى مستدير

وليست اجزاء الطواحين مقصورة على دق الحبوب وتفتيتها بل تفلتها وتطحنها
بتأثيرها الشبيه بتأثير الخواير ويعين على ذلك الافاير المصنوعة في السطح
المستوى من هذه الاجزاء

ولما انهمنا الكلام على الخواير المنشورية اى التي على شكل المنشور تناسب
أن تسلك على الخواير المخروطية او الهرمية ~~ك~~ المنقاش والمسامير وبعض
الاسلحة والآلات المستعملة في القنون الحربية والملكية فنقول اذا اريد
ادخال منقاش او سمير مخروطى او هرمى (شكل ٢٤ و ٢٥)
في جسم يقاوم ذلك فان كانت المقاومة مناسبة للاخراج الحاصل بين اجزاء هذا
الجسم ولكمية النقاط التي يلزم بعدها عن بعضها امكن أن نبرهن على أن الجهد
اللازم لادخال السمير او المنقاش يكون مناسباً المقدار انبرسى الجزء المقروض

غرضه من ذلك المناقش والمصار لان هذا المقدار مأخوذ بالنسبة لمحور المسما
او المناقش المعتبر كهرم او خابوز

ومن الخوايز الهرمية او المخروطية ايضا كثير من الآلات المستعملة
في الصناعة كالنفود والخبر والسفة والابرة والدبوس وآلات الحفر والنقش
وما شبه ذلك ويشاهد في الحيوانات ما هو على صورة خوايز متنوعة الشكل
لاجل الاعتراض والذب بها وذلك كالاسنان والقرون والاظافر والخال
وتحوها و مثل ذلك كثير جدا لا يمكن حصره

وقد ابتدع ارباب الصنائع تركيبا يدعى لاتحاد انواع البريمة والخابوز حيث
ان كلا منهما على افتراضه يحصل به التوازن بين المقاومة الكبيرة والقوة
الصغيرة و باجتماعهما يحصل التوازن بين قوة اصغر من المتقدمة بالنسبة
للمقاومة

ومن هذه الآلات المركبة ما الغرض منه الدخول في الاجسام كالمقاب
والمساروم منها ما هو معد لقطع الاجسام فاذا فرضت خابوزا ومخروطيا ممتذا
جدا وتيت هذا الخابوز على صورة الخليزون حدث من ذلك الآلة المعروفة
بالبريمة او كاشة المدفع التي الغرض الاصلي منها الدخول في السدادة او في ممسحة
الاسلحة النارية

ولاجل تحصيل النسبة بين القوة والمقاومة في مثل هذه الآلة يلزم أن نلاحظ
انه اذا كانت هذه الآلة بريمة كانت النسبة الحاصلة بين القوة والمقاومة
كنسبة المحيط المقطوع بهذه القوة الى خطوة البريمة ثم ان كان طرف البريمة
او كاشة المدفع مثقابا كانت النسبة الحاصلة بين القوة والمقاومة كنسبة طول
هذا الخابوز المروض الى سطح قاعدته مضروبا في مربع نصف قطر هذه
القاعدة فيكون حاصل هاتين النسبتين هو عين حاصل النسبة الواقعة بين القوة
والمقاومة غير أنه يلزم التنبيه على أن الاحتكاك يعدم جزأ عظيما من القوة
وهي مع ذلك أكبر من المقاومة

والنوع الثاني من اتحاد البريمة والخابوز وهو اجاعتهما معاه اهمية عظيمة

وهو أكثر استعمالا من الأول ويدخل فيه المثاقيب الكبيرة والمخاريز ونحوهما
(شكل ٢٦ و ٢٧) فإذا فرضنا خابورا تثبتا على طول ضلع الاسطوانة
وفرضنا أن هذه الاسطوانة تتحرك فتتحرك كما ستدري انني كل وقت يمكن أن نعتبر
أن هذا الخابور مدفوع بقوة واقعة على حده القاطع ويعظم تأثير هذه القوة
كلما كان الخابور في زاوية حادة جدا بالنسبة للجسم المطلوب تحريكه
وإذا فرضنا الآن ضلعا منتظما ثنائيا مطرويا لاهن الضلع المستقيم فإن الحد
القاطع من الخابور عوضا عن كونه يقطع الجسم قطعا عموديا على اتجاه التحرك
الحاصل له يقطعه قطعا مائلا ويكون تأثيره كتأثير الخابور المستقيم الذي
يوجه اتجاهه مائلا كالشواكرو في هذه الصورة تعظم القوة بالنسبة للمقاومة
حتى ينشأ عن خلزون الحد القاطع مع ضلع الاسطوانة المنثنى عليها هذا الخلزون
زاوية كبيرة فإذا اريد عمل مثاقيب كبيرة تامة الصلابة لزم الاهتمام بجعل
حده القاطع حاداجدا واحدا ناضعا مع ضلع الاسطوانة المجهولة محور هذه
الآلة زاوية كبيرة

ومجد في المثاقيب والمخاريز فرأنا عظيما في خلال كل خطوة من خطوات
البريمة الحادثة عن خيوطها الحادثة متى تثبت تلك الآلة بالجسم المطلوب تحريكه
انفصلت عنه اجزاء تكون صورتها على شكل الخلزون وتبصر في الفراغ
الموجود بين ادوار تلك الخيوط ومع ذلك فلا بد من التفتية على أن تلك الاجزاء
لا تشغل الاجزاء من الاسطوانة الكلية التي يثقبها المثقاب او المخراز وعلى انها
تكون ممتدة او منكسمة بمجرد اتصالها وهذا الانكماش يضر بتأثير الآلة
ولكن لاجل منع ازدياده من زمن الى آخر فيجذب المخراز او المثقاب كي يخرج
الاجزاء المنفصلة ثم تأخذ في الثقب ثانيا ويكون العمل بعد ذلك سهلا

وقد عمل المهندس استيفان بريس في الآلة المعروفة بالمقراض لكونها تزيل
وبر الجوخ عملية بدية تتعلق بالبريمة والخابور واول من جلب هذه الآلة
الى مملكة فرنسا هما المهندسان المسعي كل منهما بويارد وقد حسنها
المهندس يوهن كولبير فحسينا بينا ولاجل تصورها فرض آلة قاطعة

كالوسى معوجة على صورتها الحزونة ممتدة وملتفة على محيط اسطوانة مجوفة
ونضع بمماساة الاسطوانة التي يقطعها الحد القاطع من الصفايح الحزونية
صفحة ثابتة مستقيمة وموازية لمحور هذه الاسطوانة وتحت هذه الصفحة
بالقرب منها جذا بحيث يكون للقماش المراد ازالة وبره محل يوجده مسند مواز
ايضا للصفحة الثابتة ومحور الاسطوانة فتجد احد طرفي الجوخ عند مده جدا
مشدودا وملتفا على قرص بكرة بخلاف الطرف الاخر فانه يكون مختلا من
فوق اسطوانة اخرى مخصوصة وبمجرد مرور الجوخ بين المسند والصفحة
الثابتة يلاقى صفحة حزونية تتقدم بحسب ميلها على طول تلك الصفحة
وتزيل جميع ما يكون بارزا على القماش من الوبر حتى جاوزت الآلة الحزونية
عرض الجوخ شرعت في ازالة الوبر آلة اخرى حزونية ابتداء حركة من الصفايح
الحزونية

* (الدرس الثالث عشر) *

* (في بيان ما يقع في الآلات من الاحتكاك) *

اذا كانت الاجسام مصقولة مقلتا تاما امكن أن تتزحلق على بعضها بدون أن
يعرض لها ادى مقاومة من تماسها ببعضها فاذن يجري هنا جميع النسب
البسيطة السهلة التي تكون بين القوى والمقاومات بدون حدوث تغيير في سائر
الآلات التي ذكرناها على اختلاف انواعها ولكن لا يمكن أن يكون سطح
الاجسام بهذه المثابة من بلوغ الغاية في الصقل فلا مانع حيثئذ من تحرك
الاجسام على بعضها بدون أن يحصل من خشونة مسطحاتها ادى مقاومة
تبطل هذا التحرك ومثل هذه المقاومة يعرف بالاحتكاك

فاذا اريد حيثئذ معرفة المقدار الحقيقي لتأثير القوى الواقعة على الآلات لزم
معرفة قيمة مقدار الاحتكاك وضم هذه المقاومة الجديدة الى المقاومات
المعلوم مقدارها الحقيقي من النظريات

ومن الطبيعيين والمهندسين من بحث بالتعاقب عن قوانين الاحتكاك سالكا

في ذلك مسلك النظريات والعمليات مثل اموسوس وموتجورويك
وكاموس وبوسوت فهم الذين بحثوا عن هذه المسئلة بالتعاقب الانهم
لم يوفوا بما حثها على ما ينبغي فاعتنى بتكميلها الشهير كلب بتجارب بدبعة
ووضيحات عظيمة تدل على فطنته وجودة قريحته

فنبغي ارام كل من تصدى لتكميل فنون الصناعة بالسبع على منوال
كلب في النظريات المتعلقة بالالات البسيطة مع الالتفات الى احتكاك
الاجزاء الصلبة وانكماش الحبل ليظهر لهم واسطة التجارب التي يشعرون
فيما انه يمكن وضع قواعد تسهل بها الحسابات التي لا يمكن معرفتها بمجرد
النظريات بل لابد في ذلك من ضخمة تلك التجارب اليها

فلنعرض قبل الشروع في معرفة تأثير سطحين يتزحلفان على بعضهما جسما
موضوعا على مستومائل ميلا كافيا فيلزم بمقتضى الدعوى النظرية المقررة
في شأن المستوى المائل أن الجسم يسقط بتأثير التناقل مع سرعة مجبهة تكون
نسبتها للسرعة المجبهة لهذا الجسم الساقط بدون معارضة على مستقيم رأسى
كنسبة ارتفاع المستوى المائل الى طوله ومع ذلك فقد يكون الجسم ساكنا
فمن ذلك الورق والريش والدوات التي توضع غالبا على لوح التخته المائل بدون أن
تترلق على طول هذا المستوى فتكون بالبداهة مقاومة الاحتكاك اكبر من
قوة التناقل فاذا املنا بواسطة الاحتكاك هذا المستوى المستقرة عليه تلك
الاجسام شيئا فشيئا فانصل الى الوضع الذي يكون مبداء الحركة هذه الاجسام
وهو وضع يكون فيه تناقل الجسم من مبداء الامرا كبر من مقاومة الاحتكاك
فعلى ذلك لا مانع من سألولة هذه الطريقة في معرفة درجة الاحتكاك الحادث
بين اجسام متنوعة عند تحركها على بعضها ويستنبط من ذلك عدة فوائد
مهمة

مثلا اذا كانت الاجسام موضوعة على المستوى المائل منذ مدة فانه لا تأخذ
في التحرك عليه الا اذا املنا اكثر عما اذا وضعت على مستوميله معلوم وحصلت
املته باثر الوضع فعلى ذلك اذا استقرت الاجسام مدة من الزمن على مستو

مادى فانها تكتسب بهذا النوع التصاق به تزداد الموانع التي يلزم الطهور عليها
والنظر بها

ولنؤثر على هذه الطريقة الطريقة التي جرى عليها كلب مع بيان آتته
فنعول

ان تلك الالفة عبارة عن تازجة صلبة (شكل ١) مثبت عليها الوحان كلوحى
م م و م م غليظان ومتوازيان ومتلاصقان وكل من اطرافهما يزيد
في الطول على التازجة وبين التاهيتين البارزتين من احد طرفي اللوح قرص
بكرة محوره على اللوحين المذكورين كقرص ر وعلى التاهيتين البارزتين
من الطرف الاخر منخضون افقي كمخضون ط ط

وعلى هذين اللوحين الغليظين تخشبية من الالواح كخشبية ح ح
جيدة الصقل يزيدان عنها في الطول نحو متر ونصف وهي التي تترحلق
عليها الاجسام التي يراد عند تحركها معرفة مقاومتها الناشئة عن
الاحتكاك وهذه الاجسام مسطحات من الخشب (شكل ٣) على
اطرافها حالتا ث و ث المعدة احدهما لاسالك طرف الحبل الذي
يلتف على عمود المنخضون (شكل ١) وهذا الطرف هو محل تأثير القوة
والثانية لاسالك طرف الحبل الذي يمر بحلق قرص البكرة ويوجد على هذا
الحبل تارة كفة ميزان ككفة ب (شكل ١) يوضع فيها اتشال بقدر
ما يراد لاجل تبويب القوة وتارة رافعة كرافعة ل (شكل ٢) تؤثر
في هذا الحبل بواسطة ثقل كذراع القبان

ثم ان اول عملية اجراها كلب بموجب هذه الطريقة هو انه وضع على لوح
الاختبار رقالة (شكل ٣ او ٤ او ٥ او ٦) تترحلق على هذا
اللوح ثم تستقر لحظة من الزمن

وكان كل من الثقالة (شكل ٣) واللوح المذكورين من خشب البيلوط
وهذا النوع من الخشب اذا استقرت عليه الثقالة مدة ثمانية او ثلث

توان الى عشرون فلا بد في تحريكها من قوة كبيرة غير أن القوة التي تستعمل عقب دقيقة في بدء تحريك النقالة وهي قوة الضغط تكون مع قوتها مقاومة الاحتكاك في نسبة لا تتغير الا من ١٠٠ : ٢٢١ الى ١٠٠ : ٢٤٦ وان كانت الانضغاطات تختلف من ٢٧ كيلوغراما الى ١٢٣٠ كيلوغراما

ولاجل معرفة التأثير الناشئ عن سطح الاحتكاك الممتد كثيرا او قليلا يسر باسفل النقالة مفشوران من البلوط كشوري ط و ط (شكل ٤) وحيث ان جزء هذين المنشورين المماس للوح الاختبار مستدير على شكل اسطوانة لم يبق لسطح الاحتكاك من العرض الامتداد يسير فيكون حينئذ اتجاه المنشورين المذكورين موازيا لاتجاه تحريك النقالة ولا فرق هنا بين مقاومات الاحتكاك متى تحركت النقالة بمجرد وضعها على لوح الاختبار او بعد وضعها عليه بمدة يسيرة

وفي الانضغاطات التي تختلف من ٤٠٠ الى ١٣٠٠ كيلوغرام في كل متر مربع لا تختلف نسبة الضغط الى القوة اللازمة للتغلب بالاحتكاك الا من ١٠٠ : ٢٣٦ الى ١٠٠ : ٢٤٠ ومثل هذه النسبة يمكن اعتبارها ثابتة تقريبا وحيث ان لا يلاحظ فيها مساوية تقريبا للنهاية الكبرى من نسبة الانضغاطات الى الاحتكاكات متى احتكت النقالة بجميع مسطح قاعدتها على لوح الاختبار فاذا اخذنا المقادير المتوسطة في الصورتين بواسطة التجارب وجدنا الفرق بينهما لا يبلغ واحدا من ثلاثة وعشرين

فاذا كان الضغط صغيرا كان الاختلال كبيرا واذا كانت الاجمال كبيرة لم يظهر التحلل وتكون نسبة الضغط الى مقاومة الاحتكاك ثابتة تقريبا مهما بلغ امتداد السطح الواقع عليه الاحتكاك

ثم انهم بعد ان اختبروا احتكاك البلوط على البلوط اختبروا ايضا احتكاك الراتنج على البلوط استبدلوا المنشورين المتخذين من خشب البلوط الموضوعين اسفل النقالة بمنشورين من خشب الراتنج

وإذا تحركت النقالة بعد وضعها على لوح الاختبار بمدة يسيرة فإن مقاومة الاحتكاك تصغر ما أمكن لكنها بعد عشر ثوان تكبر بمقدار ما تبلغه بعد مضي ساعة

فإذا بلغت مقاومة الاحتكاك نهايتها الأصلية بواسطة تأثير حمل عظيم كانت نسبة الضغط الى هذه المقاومة هي نسبة ١٥٠ : ١٠٠
وإذا ثبتنا على لوح الاختبار قاعدتين من الراتنج تترحل عليهما النقالة التي استعملناها في التجارب المتقدمة فانه عند احتكاك الراتنج على الراتنج بهذه المثابة تكون دائما ادى مقاومة للاحتكاك حاصلة متى تحركت النقالة بآثر وضعها على لوح الاختبار الا انه اذا مضى على تلك المقاومة عشر ثوان كبرت بمقدار الموضي عليها ساعة وفي هذه الصورة تتغير نسبة الانضغاطات الى المقاومات من ١٨٥ : ١٠٠ اذا كان الضغط صغيرا الى ١٧٧ : ١٠٠ اذا كان كبيرا

ويحصل اختبار احتكاك خشب الدردار على الدردار بالكيفية المتقدمة وهي أن يسمر منشوران بأسفل النقالة وقد ذكر كلب أن خشب الدردار الذي يجرد منه الانسان عند اللمس لطافة ونعومة كالقטיפعة هو في التصاقه ببعضه أشد بطنان من سائر الاخشاب المتقدمة ويظهر به ازدياد الاحتكاك بعد مضي عدة ثوان ولا يبلغ نهايته الكبرى اذا كان الضغط يساوي ٢٢ كيلو غراما الا بعد استقرار الخشب اكثر من دقيقة وعلى ما ذهب اليه هذا العالم الطبيعي من أن الضغط يتغير من ٢٢ كيلو غراما الى ٨٣٠ كيلو غراما تكون نسبة الضغط الى مقاومة الاحتكاك من ٢١٤ : ١٠٠ ومن ٢١٨ : ١٠٠ وهاتان النسبتان لكون ما بينهما من الفرق قليلا جدا يصح اعتبارهما متساويتين في سائر نتائج العمليات المحضة ولنذكر لك هنا ما بين ثقل النقالة وجلها ومقاومة الاحتكاك الناشئة عن هذا الثقل من النسب المتوسطة المستبقة من التجارب السابقة فنقول انه يحدث

عند احتكاك البلوط على البلوط	٢٣٤ : ١٠٠
وعند احتكاك البلوط على الراتنج	١٥٠ : ١٠٠
وعند احتكاك الراتنج على الراتنج	١٧٨ : ١٠٠
وعند احتكاك الدر دار على الدر دار	٢١٨ : ١٠٠

وفي سائر التجارب التي اسلفنا الكلام على نتائجها يكون تزلزل الخشب على بعضها في اتجاه عروق الخشب قد وجهت في تلك التجارب المتواليه عروق منشوري ط ط الممرين باسفل الثقالتين اتجاهها عوديا على عروق خشب لوح الاختبار (شكل ٥) وعلم مما سبق انه لا بد من استقرار الخشب مدة من الزمن حتى تبلغ مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى وان نسبة الضغط بلغت من ٢٥ كيلوغراما الى ٨٢٥ والنسبة بين هذا الضغط ومقاومة الاحتكاك هي دائما ثابتة تقريبا فانها عند احتكاك البلوط على البلوط مع قطع النظر عن عروق الخشب المتماصة تكون

٣٨٥ : ١٠٠ في الانضغاطات الصغيرة

٣٦٧ : ١٠٠ في الانضغاطات الكبيرة

وعند عدم المانع تعظم القادة في احتكاك الخشب على بعضها اذا كانت عروق القطع المتماصة متجهة على بعضها اتجاهها عوديا عوضا عن كونها تترحل على عروق قطعتين متماستين

ثم ان احتكاك المعادن على الخشب (شكل ٦) لا يذفيه من مكث الجسمين متماستين زمنا طويلا حتى تبلغ مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى واقل ما يلزم لذلك اربع ساعات او خمس بخلاف احتكاك الخشب على بعضها فان الدقيقة الواحدة تكفي في كون المقاومة تاخذ في الازدياد من زمن الى آخر فلا بد في الصورة الاولى من طول المدة حتى تمتنع هذه المقاومة عن الازدياد بالسلكية

فاذا استقر الجسمان على بعضهما اربعة ايام تغيرت نسبة الانضغاطات الى مقاومة الاحتكاك من ٥٣٠ : ١٠٠ الى ٤٨٦ : ١٠٠

اذا كان تغير الانضغاطات من ٢٦ كيلوغراما الى ٨٢٥ كيلوغراما ويحدث من النحاس مثل هذه النتائج في الزمن الذي تبلغ باثمه مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى وفي نسبة الضغط الى هذه المقاومة وهي ١٠٠ : ٥٠٠

وبعد ترزلق المعادن على الخشب يسمر على لوح الاختبار (شكل ٧) قاعدتان من الحديد في غاية من الاحكام والصقل ترزلق عليهما قاعدتان اخريان من الحديد ايضا مثبتتان اسفل النقالة وفي هذه الصورة تظهر من اول وهلة اعظم مقاومة للاحتكاك فتكون النسبة على هذا المتوال قدر الضغط ضغط مقاومة الاحتكاك

احتكاك الحديد على الحديد } ٢٥ كيلوغراما :: ٣٤٠ : ١٠٠
٢٢٥ كيلوغراما :: ٣٦٣ : ١٠٠

فيمكن أن نعتبر مقاومات الاحتكاك هنا مناسبة للانضغاطات تقريبا وكذلك الحديد اذا احتك على النحاس الاصفر فان نسبة الانضغاطات فيه الى مقاومة الاحتكاك تكون بهذه الصورة

قدر الضغط

احتكاك حديد على نحاس اصفر } ٢٥ كيلوغراما :: ٣٦٠ : ١٠٠
٢٢٥ كيلوغراما :: ٤٠٠ : ١٠٠

فاذا احتك الحديد على النحاس الاصفر وكانت ابعاد سطوح التماس صغيرة ما امكن بأن يجعل مثلا على قاعدة في النقالة المتخذتين من الحديد اربع مسامير من النحاس رؤسها مستديرة ومثبتة باسفل النقالة تحدث هذه النسبة وهي

الضغط مقاومة الاحتكاك

اذا كان قدر الضغط ٤٣ كيلوغراما كانت النسبة ٥٩٠ : ١٠٠

واذا كان ٢٥ كيلوغراما كانت النسبة ٦٠٠ : ١٠٠

وهذه التجربة مترتبة على تنبيه مهم وهو انه بمجرد ما تنزل على قاعدة الحديد النقالة المحاطة بمسامير من نحاس تكون النسبة ٥٠٠ : ١٠٠ ولكن

بعد حصول التحرك عدة مرات يصل الحديد والنحاس صقلا تاما بواسطة احتكاكهما على بعضهما فتصير هذه النسبة ٦٠٠ : ١٠٠ وبذلك تنقص مقاومة الاحتكاك وحينئذ فالاحجار والرمل وسائر الآلات التي تستعمل في الصقل لاتزيل خشونة سطوح الاجسام بالكلية وانما يزيلها الاستعمال بواسطة الانضغاطات العظيمة التي تحصل عند سرعة تحرك الآلات

وفي كثير من الفنون اذا اريد تقيص مقاومة احتكاك سطحين يتحركان على بعضهما يوضع بينهما اجسام دسمة كالزيت والدهن وشحم الخنزير القديم وما اشبه ذلك وهذا هو ما يغلب استعماله في ذلك الغرض ولا بد من معرفة الدرجة التي تبلغها الادهان في تقيص المقاومات وقد استعمل كلب في مبدء الامر الشحم النقي

ولا تبلغ المقاومة بهذا الدهن نهايتها الكبرى الا بعد مضي مدة طويلة جدا فاذا مضت خمسة ايام اوسنة كبرت هذه المقاومة عما كانت عليه أولا بنحو ١٤ مرة اذا كان سطح النحاس كبيرا بالنسبة للضغط واما اذا كان صغيرا فان نسبة الانضغاطات الى المقاومات تبلغ نهايتها الكبرى سريعا

وقد وضع الدهن في التجارب المتقدمة مدهيسيرة ووضع ايضا فيا بعد هامن التجارب مدة ثمانية ايام فكان على غاية من الصقل الآن دسامته قلت عما كانت عليه أولا وكانت ايضا مدة استقراره لها تأثير عظيم في مقاومة الاحتكاك ولوحظ أنه اذا استقر بقدر هذه المدة حدث عنه مقاومة ادنى من مقاومة الدهن الموضوع منذ مدة يسيرة

ثم ان كلب اوقع الاحتكاك بين طاعدتين من النحاس مثبتتين باسفل النقالة واخرين من الحديد مثبتتين بلوح الاختبار ومدهونتين بشحم جديد يبلغ سمكه ٥ ملليمتر تقريبا فازدادت مقاومة الاحتكاك في مبدء الاستقرار ثم بلغت نهايتها الكبرى بعد مضي مدهيسيرة

واذا قطعنا النظر عن التصاق السطحين المتماسين الذي هو كناية عن كمية بائنة

حدث عن تحريك النقالة بدون واسطتها أن مقاومة الاحتكاك تكون مناسبة للانضغاطات في نسبة ١٠٠ : ١١١٠ ولما كان تأثير الالتصاق كاذباً كما هو معلوم بالنسبة للأجسام العظيمة كان للدهن فائدة عظيمة أزيد منه يحدث من ضغط قدره ٦٠٠ كيلوغرام ١٠٠ كيلوغرام من مقاومة الاحتكاك بخلاف ما إذا كان الدهن بالشحم فلا تحصل المائة المذكورة الانضغاط قدره ١١١٠ كيلوغرام وبالجملة ففي كانت السطوح مدهونة بالشحم لم تتغير نسبة الانضغاطات إلى مقاومات الاحتكاك أصلاً مهما كان امتداد السطوح المتحاسة وهذا إذا كان مقدارها غير مناسب للضغط بالكلية وإيضاً قد يكون هذا الضغط صغيراً قدر ما يراد من غير أن تتغير النسبة فإذا لم تتحرك النقالة إلا حين بلوغ مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى كانت النسبة عند استخراج تأثير الالتصاق هكذا

٩١٠ : ١٠٠ في الانضغاطات الصغيرة

٩٩٠ : ١٠٠ في الانضغاطات الكبيرة

وإذا حصل الدهن بزييت الزيتون عوضاً عن الشحم بلغت مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى من مبداء الأمر تقريباً وكانت مساوية $\frac{1}{4}$ الضغط و $\frac{1}{4}$ تغيرت من $\frac{1}{4}$ إلى $\frac{1}{4}$ إذا استعمل في الدهن شحم الخنزير القديم فعلى ذلك يكون الشحم الجيد أعظم ففعلاً في صورة ما إذا كان الاحتكاك بين النحاس والحديد

ولا يكتفي في الظفر بالمقاومة الحاصلة لتحرك الجسم حين استقراره على سطح مجزء معرفة القوة اللازمة لذلك بل لابد أيضاً من معرفة الكيفية التي تتغير بها المقاومة على حسب ما يكون للجسم من السرعة الكبيرة ثم إن الآلة التي سبق ذكرها هي المستعملة في ذلك دائماً غير أن رمانة القبان (شكل ٢) التي افترض منها أن يكون للجسم في التحرك أقصى درجة تستبدل بالحبل والكفة (شكل ١) الحاصلة اتقالاتاً بواسطة يكون للجسم سرعة هائلة فيحصل الاحتكاك مع الجفاف بدون دهن وتتحرك النقالة على لوح الاختبار بما تحمله تدريجاً من

الاتقال التي يحدث منها هذه النقلة مرة تكبر شيئاً فشيئاً
 وإذا كانت النقلة موضوعة على لوح الاختبار وحاملة ثقل يطلب معرفة
 تأثيره فالتأثير على الكفة بالتوالي اتصلاً بالمتنوعة ثم تحرّك النقلة فارتدق
 المطرقة دفات خفيفة وتارة بدفع النقلة من خلفها بواسطة رافعة ويوجد
 في احداث طرف لوح الاختبار الطولية تقاسيم مضبوطة بحيث تدل نهاية
 النقلة عند قطع هذه التقاسيم على المسافات المقطوعة وبالجملة فتقدر
 مدة التحرك ككيفية ترجع على غيرها في التجارب القليلة الضبط المراد
 علمها وهي كيفية البندول الذي تمكث كل رجة من رجائه نصف ثانية
 ويلزم ملاحظة القوة التي لا بد منها في مبدئ تحرّك النقلة ثم تستعمل في أثناء ذلك
 قوة متوسطة وفي الآخر تستعمل قوة كبيرة ويلزم أيضاً ملاحظة الزمن الذي
 لا بد منه في قطع النقلة مسافتين قدرهما ٦٦ ستمتر

والزمن الذي تستغرقه النقلة في قطع المسافة الاولى هو على العموم ضعف
 الزمن الذي تستغرقه في قطع المسافة الثانية تقريباً غير أن الجسم المتحرّك بقوة
 مجله ثابتة الذي يقطع مسافتين متساويتين على التعاقب يستغرق تحرّكه ازمناً
 تكون نسبتها الى بعضها :: ١٠٠٠٠ : ٢٠٠٠٠٠ فتستغرق
 النقلة حيثئذ ١٠٠ وحدة من الزمن في قطع الجزء الاول من المسافة
 و ١٤٢ وحدة ايضاً من الزمن المعد لقطع الجزء الاول مع الثاني فلا يزيد
 زمنه على الاول الا ٤٢ وحدة

فعلى ذلك يكون تحرّك النقلة الناشئ عن القوة المجله الثابتة وهي قوة تناقل
 الاتقال منتظم المجله وذلك يستلزم أن مقاومات الاحتكاك لا تعدم في كل وقت
 الاكبة مناسبة من القوة التي يزيد بها التناقل فاذن تكون مقاومة الاحتكاك
 كمية ثابتة مهما كانت سرعة الاجسام المتحاسة

ومع ذلك اذا كانت السطوح المتحاسة كبيرة فان الاحتكاك يزيد بازدياد
 السرعة وبالعكس بمعنى انه اذا كانت السطوح المتحاسة صغيرة فان الاحتكاك
 ينقص قليلاً بانقاص السرعة ايضاً غير أن ما بين هاتين الصورتين من

الاختلاف لا يغير شيئاً في جودة النتيجة التي ذكرناها في أغلب العمليات وقد عين كلب بحسابات وإن كانت مختصرة على قدر الكفاية إلا أنه يطول بيانها هنا ما بين الانضغاطات والاحتكاكات الحادثة منها من النسب في التجارب الستة الآتية التي تتنوع فيها السرعة بحيث تفوق ما يحصل في العمليات من الانضغاطات العظيمة وهالك بيان ذلك احتكاك واقع على سطح يبلغ استداره ١٠٠٥ ستغرام يعامل بهذه المثابة الآتية

مجرة	•	ضغط	نسبة
تجربة أولى	٢٥	كيلوغراما	٥,٧
تجربة ثانية	١٨٨		٩,٤
تجربة ثالثة	٢٩١		٩,٥
تجربة رابعة	٨٢٥		٩,٤
تجربة خامسة	١٧٨٨		٩,٢
تجربة سادسة	٦٥٨٨		١٠,٤

وفي هذه التجارب يكون اتجاه عروق خشب بلوط النقاله هو عين اتجاه عروق خشب لوح الاختبار ثم توجه عروق خشب النقاله اتجاهها عودياً على عروق خشب لوح الاختبار ومن وقتئذ لا يحصل في نسبة الانضغاط الى الاحتكاك الا تغير قليل جداً سواء كانت السطوح الخمسة متسعة او كانت قضباناً ضيقة كحدود السكاكين القليلة وقد اورد كلب في ايضاح هذا التعبير عبارة جديدة لا بأس بآراءها هنا فنقول

إذا كانت القواعد المصنوعة على صورة خابور والمثبتة بأسفل النقاله تتزلق على عروق الخشب فان نقط لوح الاختبار تصل الى اطراف القواعد فتبقى هناك مضغوطة حتى تقطع النقاله مسافة بحد طولها وحيث ان طول النقاله ٤ دسجترات فاذا كان التحرك مثلاً ٤ دسجترات في كل ثانية فان كل قطعة من نقط اللوح تضغط مدة ٤ نوان وحيثئذ يحدث عن عدم تساوى السطوح

الناتج عن التصاقها ببعضها مقاومة بها بتغير الصورة التي تكون لها عند الانضغاط ومع ذلك فالمدّة المذكورة التي هي ٤ ثوان تكفي في تغيير صورة تلك السطوح ويخضع جزء منها على ذلك إذا كانت النقلة المستندة إلى زوايا مستديرة تترحل على عروق الخشب فإن الاحتكاك يصغر بالنسبة في الانضغاطات الكبيرة والصغيرة وأما إذا كانت هذه القواعد المصنوعة على صورة خابور موضوعة في طرف النقلة فإن كل نقطة من نقط لوح الاختبار عند تحرك النقلة لا تكون مدّة انضغاطها الا بقدر ممرورها على الزاوية وهذه المدّة ليست طويلة بحيث تكفي في تغيير عدم التساوي بتغيره يتناقص اذن أن يكون الاحتكاك في هذه الصورة كالاحتكاك في صورة ما إذا كان امتداد السطوح متناهيًا وحيث أنه في كلا الصورتين لا تتغير صورة عدم التساوي الا بكمية يسيرة فإن عدم التساوي المذكور يكون متداخلاً في بعضه بدون مانع وجميع ما سلفناه من النتائج إنما هو في صورة احتكاك البلوط على البلوط وأما في صورة احتكاك الراتنج على الراتنج والدردار على الدردار فإن نسبة الضغط إلى الاحتكاك تكون على هذا الوجه

راتنج على راتنج ٦ : ١

دردار على دردار ١٠ : ١

وفي صورة مماسة الاخشاب للمعادن يكون الاختلاف اظهر مما في صورة مماسة الاخشاب للاخشاب

فيثبت من مبدء الامر باسفل النقلة قواعد من حديد معدة للاحتكاك على لوح الاختبار المتخذ من البلوط وإيما كان الضغط بالنسبة إلى السرعة الهينة يكون الاحتكاك على الثلث من هذا الضغط تقريباً وتكون نسبة ضغط النقلة إلى القوة التي تسيرها في كل ثانية خطوة كنسبة ٦ : ١ وهذا الفرق العظيم الواقع في النسبة لا يحصل عند ازدياد السرعة في السطوح الصغيرة المتماثلة التي تضعها افعال كبيرة ولا في الاخشاب المصنوعة ويكاد يبطل تأثير السرعة في الاحتكاك إذا مضى بعد الاحتكاك عدّة ساعات

وفي جميع التجارب الا في ذكرها تكون الاجسام المتماصة مغمورة بالدهن
والذي يلايم تنقيص احتكاك الاخشاب من الادهان هو الشمع ودهن الخنزير
القديم واما الزيت فلا يستعمل الا في المعادن ولما كانت الادهان من الاجسام
الليينة الرخوة كان تلطيفها لاحتكاك السطوح انما هو على وجه تجاوب
تلك السطوح بالادهان المذكورة وتوسطها بينها وجعلها على بعد واحد
من بعضها وهذا هو السبب في أن الادهان الشديدة الرخوة تكون دائمة رديئة
جدا بالنسبة للانفعالات العقلية فاذا كانت السطوح المتماصة زوايا
مستديرة قصت الادهان احتكاك النقالة قليلا واذا مرت النقالة التي لها
سطح تماس كبير مرتين او ثلاثا على شحم واحد شوهد أن هذا الشحم ينطبق
على اللوح ويدخل في مسام الخشب ولا يقاوم تعشقا لاجزاء بعضها الامقاومة
واهمية وقد ازداد الاحتكاك ازديادا عظيما في عدة تجارب تكرر استعمالها
بدون تجديد دهن ولئذ كركل هنا قبل أن نتكلم على التجارب الحاصلة
في صورة دهن الاخشاب في كل مرة السبب الذي ينشأ عنه غالبا عدم ضبط
النتائج فنقول

اذا تم الصانع عمل لوح الاختبار والنقالة واهتم كل الاهتمام بتحصين سطوحهما
وصقلها بالقارة الكبيرة اوراق السمك او برحطتهما على بعضهما عدة مرات
وهما جافان فاستمع ذلك نرى عند دهن السطوح انه ينشأ عنها في الاحتكاك
مقدار كبير من عدم التساوي يعظم بقدر كبر امتداد السطوح وصغر الضغط
وبه يزداد الاحتكاك ازديادا ظاهرا بالنسبة لازدياد السرعة وليس لهذا
الاختلاف قواعد صحيحة تضبطه ولا برهين نظرية تحققة غير أن النقالة
اذا ترحلت بمعاونة الدهن بالشحم اودهن الخنزير القديم عدة ايام متوالية
وكان عليها انتقال جسيمة كان الاحتكاك دائما مناسبا للضغط تقريبا وبذلك
لا يزيد النسبة بزيادة السرعة الا زيادة هينة

ولاجل تعيين تأثير الدهن بالشحم الذي يتجدد في كل تجربة من التجارب
الآتية في احتكاك البلوط على البلوط تستعمل النقالة التي استعملت

منذ ثمانية أيام في التجارب الحاصلة في شأن الاحتكاك وقد جرب الدهن
بالشحم المتجدد في اغلب المرات أكثر من مائتي مرة وكان الواقع على كل دسيترا
مربع ضغط عدة قناطر

فظهر في الحسب الأول من تلك التجارب اختلال عظيم وكان ما بعدها دونها
في الصبوت وكان كل من النقال ولوح الاختبار يظهر أنه قد بلغ الغاية في الصقل
الذي يقبله خشب البالوط وهالك نتيجة التجارب الستة التي علمت في شأن
سطح تماس يبلغ امتداده ١٣ دسيترا مربعا

$$\text{تجربة أولى} \quad \frac{\text{ضغط}}{\text{احتكاك}} = \frac{3250}{110} = 29,6$$

$$\text{تجربة ثانية} \quad = \frac{1600}{64} = 25,0$$

$$\text{تجربة ثالثة} \quad = \frac{100}{36} = 27,6$$

$$\text{تجربة رابعة} \quad = \frac{400}{21} = 19,0$$

$$\text{تجربة خامسة} \quad = \frac{200}{13,0} = 15,4$$

$$\text{تجربة سادسة} \quad = \frac{0}{6,0} = 0$$

والنتيجة هنا مشكلة من وجهين أحدهما المقاومة الثابتة الناشئة
عن التصاق اجراء الشحم بعضها وامتداد السطوح والثاني المقاومة الناشئة
عن مجزء الاحتكاك فانظر هنا هذه الكمية الثابتة حدث

تجربة أولى $28,7 = \frac{3200}{113} = \frac{\text{ضغط}}{\text{احتكاك}}$

تجربة ثانية $27,9 = \frac{1600}{59} =$

تجربة ثالثة $27,4 = \frac{800}{31} =$

تجربة رابعة $28,1 = \frac{400}{16} =$

تجربة خامسة $29,4 = \frac{200}{8,5} =$

تجربة سادسة $28,6 = \frac{0}{1,75} =$

وما ذكرناه من التفاصيل يكفي في بيان حكمة تجارب كلب المتوالية التي عملها في شأن احتكاك عدة انواع من الخشب على بعضها واحتكاك اخشاب على معادن واحتكاك معادن على معادن مدهونة وذلك لا يخرج من الصور الاتية وهي

اولاً أن يحدث عن احتكاك الاخشاب المتزحلقه على بعضها وهي جافة بعد استقرارها مادة كافية مقاومة مناسبة للانضغاطات تزيد في مبادئ الاستقرار زيادة بينة الا انها تصل في العادة بعد مضي بعض دقائق الى حدها وانها يتها الكبرى

وثانياً اذا كانت الاخشاب تتزحلق على بعضها بسرعة ما وهي جافة فان الاحتكاك يكون ايضا مناسباً للانضغاطات الا ان شدته تكون دون المقاومة الحاصلة عند الاجتهاد في فصل السطوح عن بعضها بعد مضي بعض دقائق من الاستقرار فتكون مثلان نسبة القوة اللازمة لفصل سطحين من البلوط وتزحلقهما على بعضهما بعد مضي بعض دقائق من الاستقرار الى القوة اللازمة للظفر بالاحتكاك عند اكساب السطوح درجة ما من السرعة

كنسبة ٩٥ : ٢٢,٢ او ١٠٠ : ٢٣

وثالثاً أن يكون احتكاك المعادن المترحلة على المعادن بدون دهن مناسباً أيضاً للانضغاطات إلا أن شدته لا تختلف سواء كان المطلوب فصل السطوح عن بعضها بعد مضي زمن ما من الاستقرار أو كان المطلوب بقاء أى سرعة منتظمة

ورابعاً أن تكون نتائج احتكاك السطوح المختلفة كالأخشاب والمعادن المترحلة على بعضها بدون دهن مخالفة بالكلية للنتائج المتقدمة لأن شدة احتكاك كانت تلك السطوح بالنظر إلى زمن الاستقرار تزداد مع البطء ولا تصل إلى حدتها إلا بعد مضي أربعة أيام أو خمسة وربما زادت على ذلك لكنها في المعادن تصل إليه بعد مدة من الزمن وفي الأخشاب بعد مضي بعض دقائق وهذا الازدياد يكون أيضاً بطياً بقدر ما تكون مقاومة الاحتكاك في السرعة غير البينة مساوية تقريباً للمقاومة التي يمكن مجاورتها عند ارتفاع السطوح أو انقضاءها عن بعضها بعد مضي ثلاث نون أو أربعة من الاستقرار وليس ذلك عاماً في جميع الصور فإن السرعة في الأخشاب المترحلة على بعضها بدون دهن وكذلك في المعادن المترحلة على بعضها لا تؤثر في الاحتكاك إلا تأثيراً هيناً ولكن الاحتكاك هنا يزيد زيادة بينة بازدياد السرعة وبالجمله فالاحتكاك يزداد على وجه التقريب الحسابي بازدياد السرعة على وجه التقريب الهندسي ولذلك قضية كلب النظرية فنقول

لا يتأق الاحتكاك إلا من اشتباك خشونة السطوح ببعضها ولا يؤثر فيها الالتصاق إلا تأثيراً هيناً لأن الاحتكاك في سائر الأحوال مناسب تقريباً للانضغاطات ولعلاقة له بامتداد السطوح وحيث يكون الالتصاق بالضرورة مؤثراً على حسب عدد نقط التماس وعلى حسب امتداد السطوح ومع ذلك فلا بد أن هذا الالتصاق ليس معدوماً بالكلية بذلنا الجهد في تعيينه بالتجارب السابقة المتنوعة فوجدناه يساوى نحو ٨ كيلوغرامات في كل متر مربع من سطوح البلوط غير المدهونة ولكن يمكن

في العمليات اجمال المقاومة الحاصلة من هذا الالتصاق كلما كثرت
الكيلوغرامات على المتر المربع

وليس السطوح فيبدا ذكر من العمليات المتغيرة عن اصلها بالادھن فعلى ذلك
لا يمكن أن تتغير الحوادث الا تغيرا لا يتعمد في طبيعة الاجزاء التي تتركب منها
الاخشاب والمعادن وذلك لان الاخشاب مركبة من الياض ممتدة وابعاء لينة
مرنة والمعادن بعكسها فهي مركبة من اجزاء متزوية كروية صلبة غير قابلة
للاثناء بحيث لا يمكن للضغط والجذب ولو بلغا اقصى الدرجات ان يغيرا صورة
الاجزاء المتركة منها سطح تلك المعادن واما الالياض المتنوعة التي يتركب منها
الخشب فيسهل انثناءها في سائر الجهات

ولاجل تقريب ما ذكر قول ان الالياض التي تستر سطح الاخشاب تتداخل
في بعضها كشعور القرسيتين عند ملاقاتهما

فاذا اريد تحصيل درجة الجذب الذي لا يتعمد في زحلقة احدى القرسيتين
على الاخرى لزم اختبار وضع الشعور في الزمن الذي يلزم فيه الاجتهاد في فصل
القرسيتين عن بعضهما بعد مضي مدة من الاستقرار وكذلك يلزم اختبار
ما تكون عليه الشعور من الوضع المخالف متى كان لكل من القرسيتين عند
ترحلتهما على بعضهما تحركا دائما كان

فلو وضعت حيثئذ خشبية جيدة العقل على اخرى تداخلت الالياض التي
على السطوح في بعضها بدون مانع

فاذا اريد الا ان زحلقة الخشبية العليا على السفلى فان ألياف هذين السطحين
تنشئ على بعضها حتى تماس بدون تعشق ومتى وصلت الالياض التماسا الى هذا
الوضع لم يأت ميلها اكثر من ذلك وتكون زاوية ميلها المتعلقة بسمك الالياض
واحدة في جميع درجات الضغط فعلى ذلك لا بد في جميع درجات الضغط من
قوة تناسبه حتى لا تعشق الالياض التي تترحل على بعضها بحسب زاوية
هذا الميل

ولكن اذا انفصلت النقالة واستمرت على الترحل انعدم تعشق الالياض

وبالقاعدة يتخلل الالياف المتجاورة من سطح واحد فراغ قميل تلك الالياف على بعضها حتى تماس وبناء على ذلك تكون زاوية ميلها اعظم من المتقدمة الا ان هذا الميل يكون واحدا في سائر درجات الضغط فعلى ذلك يلزم في السطوح المتحركة أن يكون الاحتكاك مناسباً للانضغاطات ولا يحصل تغير في هذه القاعدة الا اذا آلت السطوح المتماسكة الى اصغر ابعادها لانه اذا وقع على الاجزاء الداخلة من السطوح تأثير انضغاطات عظيمة امكن ميل الالياف ايضا وقد وجدنا ذلك في النقالة الموضوعة على زاويتين مستديرتين من البلوط عند ترزحها على عروق الخشب

وبالقاعدة المذكورة يسهل ايضاح هذه الملاحظة وهي انه متى ترزحلت قواعد البلوط الحاملة للنقالة في جهة طولها وانضغطت تقط لوح الاختبار الثابت الموضوعة تحت هذه القواعد في المدة التي تستغرقها النقالة في قطع طولها كان هذا الزمن كافيا في ارتفاع السطوح وميل الالياف ميلا كثيرا بحيث تكون اطرافها متماسة لكن اذا كانت الزوايا الحاملة للنقالة موضوعة في طرف النقالة ومارة منها فان قطع تماس الالياف مع لوح الاختبار الثابت لا يتجدد منارت حتى فيه بكيفية محسوسة لعدم وقوع تأثير الانضغاط عليها الا في مدة يسيرة وتكون نسبة الضغط الى الاحتكاك واحدة في سائر الانضغاطات كبيرة كانت او صغيرة

وليست المعادن مركبة من الالياف ولا من اجزاء لينه ولا يتغير وضع تجويف شكلها على اى حالة كانت فعلى ذلك اذا كانت النقالة متحركة او ساكنة فان شدة الاحتكاك تكون واحدة دائما لان لها تعلقا بصورة العناصر المادية التي تتركب منها السطوح ويميل المستوى التماس في قطع التماس فاذا ترزحلت الاخشاب على المعادن دخلت ألياف الخشب المرنة في التجويفات وحيث ان تلك الالياف لينه مرنة كان دخولها في التجويفات المذكورة تدريجيا فعلى ذلك تزداد مقاومة الاحتكاك كلما طال زمن الاستقرار الذي يعقب الجهد المبذول لاجل ترزح السطوح على بعضها ولكن اذا فرضنا

أن الثقالة متحركة فان صورة الالياف التي تستر سطوح الخشب ترتقي عند ملاقاتها لخشونة المعدن لتجتاز رؤس هذه الخشونات وهذا اللين ضروري لابتدائه حتى تكون مقاومة مرونة الالياف مناسبة للضغط فيكون حينئذ الاحتكاك في السرعة الغير اللينة مناسبة ايضا للضغط كما دلت على ذلك التجربة فاذا تحركت الثقالة بسرعة ما فحين ان تجوز فئات سطح المعدن متسعة بالنسبة لسلك الياق الخشب فان هذه الالياف بعد مرورها على خشونات السطوح المعدنية يرتفع جزء منها على صورة جلة من الياقات فيلزم ان انثاؤها انثناء جديد حتى تجتاز ما بقي من الخشونات ويكثر انثاؤها كلما عظمت السرعة فاذا نيزداد الاحتكاك بموجب قانون السرعة ولكن مع ذلك كلما اخذت السرعة في الازدياد يكون انثناء الالياف على شكل زاوية صغيرة لان تلك الالياف عند مرورها من خشونة الى اخرى لا تجد زمنا تستقيم فيه استقامة تامة

ولما كانت سطوح التماس في احتكاك الاخشاب والمعادن المدهونة بالشحم على بعضها عبارة عن زوايا مستديرة لم يكن للسرعة تأثير في الاحتكاك عند ترحلق القواعد على عروق الخشب ومثل هذا الاحتكاك يترأى منه أن الشحم يلصق الياق الخشب ببعضها ويزيل جزء من مرونتها ولنذكر هنا ملحوظة مهمة لابتدائها في هذا الموضوع فنقول لما ادار كلب بكرة من خشب الانبياء على محور من الحديد ليس به دهن وجد الاحتكاك في ظرف العشرين دقيقة الاولى يزداد بازدياد السرعة بموجب قوانين كقوانين الاخشاب والحديد المقررة في تحرك الثقالة وذلك لان البكرة في هذه الصورة جديدة ومع ذلك فبعد استغراق الاحتكاك المتواصل بالنظر الى سرعة الدوران مدة ساعتين يندم من الالياف معظم مرونتها ويكاد الاحتكاك أن لا يزداد بازدياد السرعة ومثل ذلك ينشأ بسرعة عند دهن المحور بالشحم فانه بعد أن يستغرق تحرك الدوران دقيقة بالنسبة الى ضغط قدره ٦٠٠ رطل يكون احتكاك البكرة المتخذة من خشب الانبياء الموضوعة على محور

من الحديد مدهون بالنهم واحدا دائما ويكون لها درجة من السرعة
 وإذا قابلنا بين مقاومة احتكاك الجسم له ثقل مقروض يسير الى جهة الامام
 وهو مستند على جسم آخر خال عن الدوران وبين المقاومة الحادثه من الجسم
 الاقل الذي يدور على الثاني وجدنا هذه المقاومة الاخيرة دون الاولى بكثير *
 مثلا اذا دحرجنا الخشب على الخشب كانت نسبة المقاومة الى الضغط بالنظر
 الى ملف صغير كنسبة ١٠٠ الى ١٦ او ١٨ وبالتطير الى ملف
 كبير كنسبة ١٠٠ الى ٦ فاذا حصل التزحلق بدون أن ندحرج
 الخشب على الخشب تغيرت النسبة وصارت من ١٠٠٠ الى ٢٠٠
 او من ١٠٠٠ الى ٣٠٠ على حسب جنس الخشب فعلى ذلك اذا
 دحرجنا جسما مستديرا على جسم مستوي بدلا عن سحبه بدون دوران زاد
 مقدار النسبة في ذلك من ١٢ الى ٢٠

وبما ذكرناه يكون استعمال الثقل في اشغال الصناعة هو الاولى والاحسن
 فاذا فرضنا أن عربة تقيها ١٠٠٠ كيلوغرام يحملها مجلستان فان كانتا
 مثبتتين في المحور واحتكاك على ارض ذات احاديث من الخشب ولم يكن فيهما
 قضبان معدنية فان مقاومة الاحتكاك تبلغ ٢٠٠ كيلوغرام واذا كانت
 العجلة لا تدور الا بالصعوبة فان مقدار هذه المقاومة يتغير فورا ولا يبلغ الا ٦
 كيلوغرامات فما دونها فاذا فرضنا حيث نذ أن المحور له قطر يساوى واحدا
 من خمسين من قطر العجلة فان تلك العجلة متى دارت دورا كاملا كانت كل نقطة
 من سطح بيت المحور المماس له تقطع سطحا اقصر من محيط العجلة خمسين مرة فعلى
 ذلك تكون سرعة هذا البيت عند احتكاكه على سطح ذلك المحور مساوية
 لواحد من خمسين من سرعة العجلة بالنسبة الى النقط المماسه للارض وحيث
 لم يكن ثم مانع فاحتكاك العجلة على المحور يساوى واحدا من خمسين من
 احتكاكها لو استعملنا بدل العربة قالة وزحلقتها على الحديد ومن هنا يعلم
 ما يتقصه الثقل من مقاومة الاحتكاك لاسيما اذا تعشق بيت المحور جلب من
 النحاس لاجل تلطيف احتكاكها على حديد المحور فلم يبق علينا حيث نذ في التفر

بالمقاومات الظاهرة المقاومة خشونة الارض والتصاقها بمحيط العجلة وهذه
المقاومة تنقص تقصا يدنا باستعمال سكك الحديد

فاذا كان المطلوب نقل احمال ثقيلة لتوضع على العربات فان العتالين يرحلونها
على ملقات او اكر (شكل ٨)

وقد شاهدنا في بلاد ايقوسيا انهم يرفعون السفن من البحر على مستوماتل
فيضعونها على نوع من العربات له عجلات صغيرة تجرى على سكة من الحديد
وبهذه الطريقة لا يحتاج في رفع السفن الثقيلة من البحر الى كثير من الناس
بل يكفي القليل منهم وقد سبق لك ذكر الكيفيات التي وصلت بها الصناعة الى
تقيص مقاومات الاحتكاك وهناك احوال بعكس هذه الكيفيات تزداد بها
تلك المقاومات بقدر الامكان مثلا اذا انتقلت العربات من سكة اقصية الى سكة
مصدرة جدا لزم منعها عن أن تأخذ في سرعة مجلبة تكون عاقبتها خطيرة وذلك
يحصل باحد امرين اما أن تمنع العجلات عن الدوران واما أن تغطي على
احتكاكها على الارض الا أن مقاومة الاحتكاك الحاصلة للعجلات في هذه
الصورة تبرى قضبانها في اسرع وقت وتجعلها غير صالحة للاستعمال ويمكن

تدارك هذا الضرر بواسطة زمام معد في كرام ض (شكل ٩) يتعشق بمحيط
العجلة ويتوسط بينها وبين الارض ويكون ممسكا بسلسلة مثبتة في مقدم العربة
وهذه الطريقة لا تخلو عن الضرر ايضا وذلك انه اذا لم تكن الارض مستوية
استواء تاما بان كان فيها شقوق او اجار عظيمة المسافة فلامانع من أن العجلة
تنقلت من الزمام فيؤدي ذلك الى اشتداد الخطر

والاولى في منع الضرر ان نستعمل قوس دائرة من خشب او معدن بأن نضعه
خلف احدى العجلات الكبيرة (شكل ١٠) على وجه بحيث يمكن تقيصه
من هذه العجلة بواسطة بريمة الضغط فاذا ازداد هذا الضغط نشأ عنه مقاومة
احتكاك تناسبه ثم تعدم تحرك العجلة بعد مدة يسيرة وهذه الكيفية التي لا مانع
من تحسينها وتلطيفها وتقويتها وزيادتها عند الاقتضاء ترجع على غيرها في عدة
امور وهي الآن مستعملة في عربات النقل وغيرها من سائر انواع العربات

ومن المهم في الآلات الكبيرة لاسيما طواحين الهواء اعمتها عن سرعة السير
او لتطيف ذلك صدر ما يراد ان لم يمكن المتع المذكور وذلك لا يحصل الا بواسطة
زمام كزمام اسبث (شكل ١١) والمراد بالزمام هنا قوس دائرة كبير
من خشب محاط من خارجه بقضيب من حديد وأحد طرفيه ثابت والآخر
ملصوق بذراع رافعة صغيرة فاذا وقع على الذراع الكبير من هذه الرافعة تأثير قوة
فان هذا الزمام يجبر على القرب من العجلة الكبيرة وبذلك نشرك مع الآلة
في التحرك وتضغط هذه العجلة ضغطا كبيرا جدا فتكون مقاومة هذا الضغط
كافية في تحصيل التأثير المطلوب واذا تأملت تجارب كلب في سائر
احوالها عرفت في اى ضغط فرضته مقاومات احتكاك الازمة التي يراد
استعمالها

ومن الآلات التي يرجح فيها الزمام على غيره الجرو اى العيار اذ يدون ذلك
لا يمكن للشغالة الظفر تلك الآلة على الحمل المطلوب رفعه الا يذل مجهودات
تكفى في ذلك والاحتكاك تحت كاهنهما بسرعة بحيث يترتب على ذلك عوارض
عظيمة واخطار جسيمة ويرجح استعمال الزمام ايضا في الطارات الصغيرة
المستديرة كما سبق بيانه في طواحين الهواء لان التأثير الحادث عنه يمنع من
وقوع الضرر بالكلبة

ويوجد بمدينة لندرة مخازن يقال لها مخازن الدول بها مخبونات فيما مثل
هذا الزمام وهى معدة لادخال البضائع في تلك المخازن واخراجها منها فاذا اريد
تنزيل هذه البضائع من المخبونات اقلنت منويلا تماد دفعة واحدة فيهبط الحمل
بالسرعة الناشئة له عن تناقله ويكون احد مهرة الشغالين قابضا بيده على
الذراع الكبير من الرافعة الواقعة تأثيرها على الزمام المذكور ينتظر الحمل الهابط
حتى يبقى بينه وبين الارض او العربة التي يلزم وضعه عليها اقل من متر فعند ذلك
يسكن على الرافعة دفعة واحدة فيقف الحمل حيث تدور وقفا وقبلا

(الدروس الرابع عشر)

(في بيان الضغط والشد والمرونة على العموم)

قد اخترنا فيما سبق تأثير القوى في الاجسام من حيث انكاشها ومدها مع فرض ثبوت ابعادها وهو فرض عن الحقيقة بمعزل فان اغلب الاجسام التي يقع عليها تأثير القوى لاجل انكاشها تنقص بعدها في الجهة التي يحصل فيها الانكاش

والمقصود لنا هنا بيان ما بين الاجسام المتنوعة من الميائات الكلية فنقول هنالك بعض اجسام يظهر أنها تتأثر بأدنى ضغط بدون مقاومة وتبقى بعد الانضغاط على الابعاد التي تحدث لها من الضغط وهذه هي الاجسام الرخوة وهنالك اجسام اخرى تتأثر ايضا بالضغط مع السهولة الا أنها بمجرد اقطاع تأثير القوة الضاغطة تأخذ الابعاد التي تناقصت بتأثير هذه القوة في الازدياد حتى تقرب من الابعاد الاصلية كثيرا او قليلا وهذه الاجسام التي ثبتت لها هذه الخاصية هي الاجسام المرنة

ولا تكون الاجسام تامة المرونة الا اذا عادت الى ابعادها الاصلية بالسرعة التي انعدمت منها حين الضغط ولكن ليس هنالك من الاجسام التي على اصل الطبيعة ما هو بهذه المثابة

واذا ضغط الجسم اول مرّة خلى ونفسه بأن يبطل تأثير القوة الضاغطة ليعود الى ابعاده الاصلية بقدر الامكان فان عادت هذه القوة الى التأثير ضغط الجسم ثانياً ضغطاً اشد في العادة من ضغط المرّة الاولى واذا بطل تأثير القوة الضاغطة عادت في العادة الى ابعاده الاصلية لكن لا كل مرّة الاولى بل دون ذلك فعلى هذا تناقص مرونة الاجسام شيئاً فشيئاً بتكرّر تأثير القوى الضاغطة ومع ذلك فكثير من الاجسام لا يندم من مرونته في كل مرّة الاجزاء غير محسوس ومثل هذه الاجسام يقبل الاستعمال زمناً طويلاً مع ما يقع عليه من كثرة تأثير القوى الضاغطة الذي يوجد تارة وينعدم اخرى

ويكثر في الصناعة استعمال الاجسام المرنة القابلة للانضغاط لاجل توزيع الضغوط المشتركة توزيعاً بالسوية بواسطة القوة التي لا تؤثر الا على اتجاها مستقيم واحد فاذا كان المطلوب مثلاً أن تنقل على فرخ من الورق او على قطعة

من القماش نقشا موجودا على لوح معدني فأتناضع على الفرخ او القماش
جسما مرنا قابلا للانضغاط ونضع فرخا آخر على اللوح المعدني ثم نضع فوق
الجميع جسما صلبا مستويا يقع عليه تأثير القوة في نقطة واحدة او اكثر وبقل
هذه القوة على الجسم الصلب المذكور تضغط الاجزاء البارزة من الجسمين المرين
على التوالي وبمجرد ضغطها للاجزاء البارزة تتلاقى مع ما بقى من الاجزاء وتضغط
معظمها بحيث يقع على جميع نقط السطح الذي تلاقى مع اللوح المعدني من جهة
ومع فرخ الورق او قطعة القماش من جهة اخرى جزء من القوة الضاغطة يكفي
في دخول القماش او الورق اللذين هما جسمان قابلا للانضغاط في تجويفات
اللوح فيحدث من ذلك ثقل النقش وطبعه

ويستعمل في كثير من الفنون ما هو من قبيل تلك الاجسام المرنة او الرخوة التي
تستعمل في توزيع الضغوط توزيعا منتظما والا وقعت كلها على نقطة واحدة
فتفتت الجسم المطلوب ضغطه او تغير صورته

فاذا كان المطلوب صقل اجسام معدنية او خرطها وكان سطح تلك الاجسام يلزم
الاعتناء به بالكيفية فأتناضع بين هذا السطح وفكي الكاشة جسما رخوا
كالخشب والراسا والشمع وما اشبه ذلك فيتوزع به الضغط على عدة
من نقط سطح الجسم المطلوب صناعته وبهذه الكيفية لا يلحقه ادنى تلف

وفي حزم البضائع ونحوها مما يخشى على سطحه التلف يلزم تحويطها باجسام
مرنة ولا ضرر بعد ذلك في ضم هذه البضائع الى بعضها بالحبال لان ضغط تلك
الحبال حينئذ يكون موزعا على الاجسام القابلة للانضغاط المحيطة بها فيكون
ما يصل من الضغط الى النقط المختلفة من الاجسام المحزومة على غاية من الخفة
وسياقى في النهر من المعقود لاصطدام الاجسام اختصار مثل هذه التأثيرات
في الاجسام المرنة المعدة لتحويل التحركات السريعة او لتطيقها

واذا فرض أن قوتين يؤثران في جهتين متضادتين لاجل ابعاد اجزاء جسم
عن بعضها فانهما يمتدان ويزيدان كثيرا او قليلا بعد هذا الجسم في جهة
المستقيم الذي يصل بين نقطتي وقوع القوتين المتجهتين الى جهتين متقابلتين

وهناك اجسام يقع عليها تأثير القوى التي يحصل بها الامتداد بدون احتياج الى عظيم جهد فاذا امتدت اول مرة لا تعود الى ابعادها الاصلية وهي الاجسام الرخوة وثم اجسام اخرى تعود الى ابعادها شيئا فشيئا حتى تصل الى حالتها الاصلية عند انقطاع تأثير القوى التي يحصل بها الامتداد وهي الاجسام المرنة وهناك اجسام اخرى ايضا ثبت لها هلمة انطامية وهي عودها الى ابعادها الاصلية سواء كانت متكسمة او معدودة وبالجملة فالاجسام منها ما يعود الى ابعادها الاصلية عودا تاما اذا انكمش ولم يمتد ومنها ما يعود اليها اذا امتد ولم ينكمش

ومن المهم جدا في سائر فروع الصناعة بالنسبة الى المواد الاولى التي لم تدخلها الصناعة والمواد التي دخلتها الصناعة وكذلك مادة خواص المرونة أن ينتخب دائما لكل صنعة ما يلائمها من المواد ولا مانع من نظم ذلك في سلك التجارب المضبوطة التي لم تعمل الى هنا الا في عدد قليل من الاجسام والاحوال التي لا يعتنى بشأنها كثيرا

وليس في الاوتار المتخذة من التيل والحريز والقطن ونحو ذلك ولا في السلوك المعدنية قابلية لمقاومة الضغط وذلك ناشئ عن صغر قطرها بالنسبة لطولها وانما هي قابلية لمقاومة الشد كل منها على حسب درجته في القوة والمرونة وما فيها من المرونة يجعلها مستحسنة في اشغال الصناعة

مثلا اذا كان المطلوب تحويل تحرك دوران من قرص الى آخر او من طنبور الى اخر فانتاقت من فوق حلق القرصين او على محيط الطنبورين حبل او سير يكون له في الشد درجة معلومة ونوزع الشد توزيعا منتظما على جميع قطب ذلك الحبل او السير فيقع تأثير الشد على كل من هذه النقط حتى يعود الحبل او السير الى بعده الاصلى ولا يأتى ذلك الا اذا ضغط محيط القرص او الطنبور بالحبل او السير فاذا تحرك بعد ذلك احد القرصين او الطنبورين جذبت مقاومة الاحتكاك الحبل او السير على محيط القرص الاول او الطنبور الاول ويحدث من الضغط الواقع من الحبل او السير على القرص الثاني او الطنبور الثاني

البحث كانه يحول التحريك الى هذا القوس الثاني والطنبور الثاني وبلا استعمال
تتخاصم المروية المضادة للشدود تتأصا تدريجيا قلدا كانت الجبال والسيور
المستعملة وان كانت مقاومة دائما بواسطة مرويتها لا تقاوم الاشياء ثيبا ولا تحت
الابا لتدريج ومثل ذلك يحمل الانسان على البحث عن الطرق التي يسلكها
يجتنب هذا المذ (راجع الدرس الثالث من الجزء الاول)

فاذا كانت الاوتار عمودية ومشدودة بالكلية وضرب على ما كان متعظرا فمن
قطعها ثم خليت ونفسها فانها تتحرك تنحز كما متددا كثيرا او قليلا يعرف بتحريك
الاهتزاز فتشير عند ذلك التحريك ما يكتنفها من الهواء فيحدث الصوت واذا
ازداد بالتدريج شد الوتر علت بالضرورة الاصوات الحادثة منه عند اهتزازه
وانقلت بالتدريج من الرخو الى الحاد ويكون في هذه الاصوات المتكونة بهذه
المنابة ما يثرب الاسماع ويصلح لان يعد من ألحان المويقي وقد تعينت بالتجربة
النسب الحاصلة بين شدود الوتر اعني الاتمال المستعملة في تحصيل الشدة الذي
تحدث عنه ألحان المويقي فعلى ذلك يكون تعيين الألحان في المويقي نتيجة
تجربة ميكانيكية

فاذا كان المستعمل وترا واحدا وفرضا له طولا فان الاصوات في هذه الحالة
تكون رخوة بقدر كبر قطر الوتر وقد تعينت النسب الحاصلة بين ارتفاع
الاصوات وقطر الاوتار المختلفة وصارت معلومة والالات ذات الاوتار
عبارة عن عدة اوتار معدنية او مخشفة من جلود الحيوانات متحدة الابعاد
والاطوال بحيث ينشأ عنها بين حدود معلومة تقاسيم ألحان المويقي وهي
الاهوية والمقامات وقد اقتصرنا في تعيين استعمالها على ما سنذكره فنقول
اذا قص طول الوتر الباقي على شدة الثابت فان الاصوات التي تحدث عنه
تكون حادة مر تفعة بخلاف صورة العكس وهي ما اذا زاد طوله فانها تكون
رخوة

ودواسات الالات ذات الاوتار هي عبارة عن روافع الغرض منها ضغط قطعة
ناطقة في بعض الاجزاء المتوسطة من الاوتار لاجل تقبص طولها فعلى هذا

يحدث بالتوالي في وتر واحد اصوات مرتفعة قليلا او كثيرا وبذلك ترداد
الالات حسنا وجودة

ولما اتينا الكلام على مرونة الخيوط منفردة ناسب أن نشرع في الكلام
على مرونتها مجتمعة فنقول ان الخيوط المستعملة في صناعة الاقشة تكون
مرنة كثيرا اقليلًا وبهذه المرونة تسهل صنعها فعلى ذلك اذا لم تكن خيوط
النسيج معدودة بالسوية في وقت واحد ولم يمكن تغيير بعضها بدون انقطاع فان
عدم تساويها الناشئ عن الابعاد او عن الحركات التي تقضيها صناعة نسيج
الاقشة يوجب انقطاعها ولو كان عدم تساويها المذكور خفيفا وهناك
خيوط على العكس من الخيوط المذكورة حيث انها عند وقوع تأثير القوى
عليها تمتد دفعة واحدة وتعود الى ابعادها الاصلية ولا يعرض لها انقطاع الا اذا
طُرأت عليها عوارض على خلاف العادة

ثم ان الاقشة المعدة للباس اذا لم تكن منسوجة من خيوط مرنة لا يتكون منها
الاسطوح منفردة بضرها غير قابلة للمد واسطوح لا تعود الى صورتها الاولى
اصلا بضرها رخوة بالكلية ولكن يمكن بواسطة المرونة أن يكون لبعض اجزاء
تلك الاقشة انحناء أن يكونان تارة في جهة واحدة وتارة في جهتين متقابلتين
وربما كانا تابعين للين اعصاب الجسم البشري في سائر التحركات المختلفة
الحادثة من الاعضاء ولما كان كل من حجم هذه الاعضاء وانحنائها يتغير مرورا
لاسيما في المفاصل لم أن تكون الاقشة غير متعاضية على هذه التحركات وأن
تعود فيما بعد الى صورتها الاصلية وذلك انما يحصل بواسطة مرونتها

وهناك بعض ملابس تحتاج في استنادها وضمتها الى بعضها الى قوة معلومة
لا تتجاوز حدة ما اذا كان المستعمل لاجل حصول مثل هذه الانضغاطات نسيجا
غير قابل للمد تألم منه اللابس عند تحرك جسمه الذي تكاد تزيد به ابعاد هذا
اللباس المحيط به فلهذا كانت اجزئة النساء الافريقية والقفازات والجوارب
وسائر اجزاء الملابس المباشرة للجلد الانسان مصنوعة من مواد مرنة ويمكن
أن يدرك بالتألم الحاصل للارجل من النعال التي ليست مرونتها كافية ما ينشأ

من هذه الناحية من المنفعة للنوع الانساني
وعرضاً عن أن تستعمل خيوطاً مستقيمة متوازية في تكوين السلوح المرونة
التي ليس لها الخاصية قبول كل خيط منها لئلا تصنع نسيجاً تكون فيه الخيوط
على اتجاه منعطف ويكون لها طول اعظم من البعد المستقيم الذي بين اطرافها
فان النسيج الذي بهذه المثابة يقبل المذاك من النسيج الاعتيادي مع أن القوة
فيهما واحدة فاذا انقطع تأثير هذه القوة انضم النسيج الى بعضه بحيث تقطع
قطعه المتطرفة مسافة عظيمة وعلى هذا المتوال يصنع النسيج المجدول الذي يصير
بواسطة الامتداد والاضغط صالِحاً لاجل تامة لسر الاعضاء الانسانية التي
تغير صورها وابعادها عند التحرك وهناك تأثير يضاهي تأثير الجدول وهو
الحادث من لب السلولة المعدنية لقاطرونيان لان هذه الحلزونات ينشأ عنها افراد
عظيم جداً بين اطرافها بخلاف البعد المستقيم لهذه الاطراف فانه لا يتقصد فيلزم
اذن أن القوة الواحدة سواء كانت معدة للضغط او المذاك يحدث عنها مذاق قبض
اكبر مما لو كانت مؤثرة في خيط محدود ومن هنا استعمال السلولة المعدنية
المنثنية انشاء حلزوني او الاشنة الافرنجية المرونة ويأيات العزلات وما اشبه ذلك
في كثير من الآلات

ولما كانت الحبال عبارة عن خيوط منثنية انشاء حلزوني كان لها بذلك درجة
في المرونة تبين درجة مرونة الخيوط الممدودة مدام مستقيماً وهذه المرونة
تستحسن في الآلات لاسيما في ادوات السفن وموادها
وفي كائنات القرى والارياض اسطوانات طويلة من صفيح مدهون بلون
البياض على صورة شعوع كبيرة فتوضع فيها شعوع اعتيادية ويوضع تحت تلك
الشعوع حلزون طويل من سلك من الحديد او النحاس الاصفر فينضغط هذا
الحلزون انضغاطاً كلياً اذا كانت الشععة بحالها لم يقص منها شيء فاذا حرق منها
جزء دفعها الحلزون ورفعها الى اعلى بحيث تكون قبلتها دائماً في نقطة واحدة
على القاعدة العليا من الاسطوانة الطويلة التي هي على صورة الشععة
الكبيرة

وما اسلفناه من الكلام الى هنا انما هو في البحث عن تعيين المقاومة التي تكون للاخشاب قبل كسرها بالتأثير الواقع على أليافها عموديا او بضغط الاتصال المؤثرة في جهة هذه الالياف

ولاشك أنه يلزم الآن معرفة النهاية الكبرى لقوة الاخشاب حتى يتأتى أن نستعمل على الدوام في العمارات والآلات المركبة منها مواد تكون قوتها اعظم من الجهود التي تقاومها لكن يلزم دائما أن نجتنب في الاستعمال النهاية المذكورة ما أمكن وكذلك في صورة عمل الاشغال التي يراد طول مكنتها بل يلزم اجتنابها اكثر من السابقة لان قوة الاخشاب تتناقص دائما بدول الزمن عليها الاسباب وهنالك عوارض كثيرة تضر ألى الاخشاب فتتلفها وتغير اوصافها الاصلية

وثم امر آخر ليس دون المتقدم في النفع بل ربما كان نفعه اعظم وان كان على ما يظهر دون القول في العمل به وهو البحث عن تعيين ما للاخشاب من المقاومات المشابهة في صورة ما اذا وقع عليها تأثير قوى من شأنها انها تغير صورتها قليلا وتؤثر في مقاومتها المتبته .

وفي بناء العمارات وعمل الآلات والسفن يلاد القرح فيجبر فرض أن القسطع الجسمية القليلة الحمل تبقى على الصورة التي رسمت عليها رسما مضبوطا وهذا قاسد لان القوى الصغيرة لها بعض تأثيرات طبيعية وان كانت لا تتركها حواسنا لصغر حاجتها ولكنها مع ذلك تنضم الى بعضها فيحدث عنها نتائج ظاهرة جسيمة ولندكر لك شاهدا على ذلك فتقول

لاشك أن اعظم عمارة يمكن عملها من الاخشاب هي السفينة والالم تنظم في سلك الدونما القرنجية فاذا اريد انشاء سفينة من الدرجة الاولى في ترسانة فلابد أن تكون في الارتفاع اعلى من المنازل القرنجية العالية ولا بد ايضا أن تكون مما يحمل القف قمع ما يلزم لهم من المؤونة مدة ستة شهور ومن المدافع بقدر ما يلزم للصن الخوف ويلزم ايضا أن تكون في الصلابة ملائمة لما تحمله من الاشياء المذكورة وقد اطلقنا هنا اسم الحاططين على جانبها المتخذين من الخشب لان

ملكهم ما ان لم يبرح على سبك الجيطان الخارجة من المنازل القرصية الجارية فلا تفلح
من المساواة لها ولا يذ أن تكون روابطها ومبادئها على اختلاف افواضها
محكمة الصناعة وكذلك ما فيها من الخاس والحديد المبتدئين لحفظ جيج انزاعها
وامساكها قبل بعد هذه الوسائل المتينة والوضع المحكم يسع من اطلع عليها
أن يشك في بقاء صورة تلك السفينة على حالتها الاصلية بدون تغيير ثم هو
في الواقع محال لانها بعد انقضاء عملها ونزولها في البحر نشأ عن عدم تساوي
التأثير الواقع من الانتقال التي باطرافها وعن دفع المياه المصادمة لها أن الاجراء
تصني في جميع طول السفينة ويصير مقعرها على شكل قوس بحيث لو فرضنا وزنا
طوله ٦٠ مترا كان سهمه في بعض الاحيان نصف متر فاكثر

ولاريب أن مثل هذا التغيير بعد جسيما اذ به لم تبقى السفينة على حالتها الاصلية
بل تغيرت تغيرا قويا في سائر صفاتها هذا وان اردت الوقوف على معرفة السهم
الذي يبلغ وتر قوسه مترين عند عروض الانحناء المذكور وجدته اقل من
عشرين مليمترا وهو مقدار قليل جدا بالنسبة لطول اقل احواله أنه يساوي
اعظم قامة من قامات النوع الانساني

وقد كنت اقل من تصدى لتقدير هذا التغيير الغير اليين الواقع في الاخشاب
تقدرت أولا مقاومة هذه الاخشاب في جميع تغيراتها عند ظهور تأثير تلك
المقاومة اعني حين تتغير صورة الجسم قليلا بما يحمله من الاحمال ولا شك انك
ترى مع الفائدة أن ما ظهر بالتجارب الحاصلة في شأن كسر الاخشاب من
القوانين وانواع الاختلال اعني في صورة ما اذا تغيرت صورتها عن اصلها تغيرا
عظيما ما يمكن ليس الا نتيجة لازمة للتغيرات الصغيرة جدا التي تبدل للناظر
عند انحناء تلك الاخشاب قليلا

ولذلك هنا على سبيل الاجال ما ألفناه من المباحث في شأن لبن الاخشاب
وقوتها ومرتبتها واسطة التجارب التي حصلت في ترسانة قورسير سنة ١٨٨١
ميلادية وفي ترسانة تولون سنة ١٨٨٢ ثم في ترسانة دوتكرل في سنتي ١٨١٦
و ١٨١٧ فنقول ان ما ألفناه في تجارب ترسانة قورسير مذكور في الجزء

العالم من كتابنا المعروف بجرنال المهندسخانة واما الآلة التي استعملناها
في تجارب ترسانة فقولون قصورها مرسومة في (شكل ٩) وصورة الآلة
التي استعملناها في تجارب ترسانة قورسيير مرسومة في (شكل ٢)
قري في (شكل ٢) نازجة كبيرة مثبتا عليها مسندان اثنيان في استواء
واحد مسافة ما بينهما تبلغ مترين وما فيه من صور قطع اختاب اليلوط والسيرو
او الزان والراتنج والصنوبر مرسوم على شكل متوازيات السطوح
وهذه المتوازيات السطوح تزيد في الطول على مترين وهي موضوعة بالتدريج

على مسندى **ض و ض** المذكورين وبها يقاس اقصر بعد بينهما
وهي بارزة قليلا من الجهتين بحيث اذا اخذت كل قطعة منها في الانحناء لا تقصر
حتى تسقط بين المسندين المذكورين

وقد وضعت على هذه المتوازيات السطوح التي سميتها بالمشورات قصدا
للاختصار اقلها بين المسندين على بعد واحد فانحنى كل من هذه المشورات
نوع الانحناء

ومن البديهي أن كل ضلع من اضلاع المشور مثل ضلع **أ ب ث** او
د ه ف ينثنى على بعضه (شكل ٢) بحسب المنحنى المرسوم في مستو
رأسى والمتمائل بالنسبة لمستوى **ه ب** الرأسى الممتد من قطعة المنتصف

التي يكون الجمل واقفا عليها امتدادا عموديا على مستوى الانحناء
وهذا المنحنى هو الذي كان يلزم تعيين اجزائه مع اعتبار الواجهة المخدبة من
المنشور والنتفى وملاحظتها دائما

وقد لاحظت في جميع ما علمته من التجارب انه متى لم تكن الاشكال كبيرة
بالكلية كانت **غ ب** التي هي سهام قسي **أ ب ث** الحادثة عن القاعدة

المنثنية مناسبة لهذه الاشكال
ولكن اذا كانت السهام صغيرة جدا بالنسبة لوتر ثابت من عدة قسي فان الانحناء

تلك القسي يكون مناسباً للسهام المتأيلة لها مناسبة مضبوطة وقد استنبطت
من ذلك القضية الآتية التي توصلنا إليها في السابق بالعلوم النظرية وهي أن الاختلاف
الآخساب الناشئ عن أقال صغيرة جداً يكون مناسباً لهذه الأقال وذلك
يكون بقياس هذا الاختلاف بخط \sqrt{g} الذي هو سهم قوس أبث اعنى
بأختصاص النقطة للمتوسطة من القاعدة

فإذا كانت قطعة واحدة من الخشب تحمل بين مسندين أقالاً مختلفة
صغيرة فإن هذه الأقال تكون مناسبة لنصف قطر الخشاء القاعدة في النقطة
المتوسطة من تلك القاعدة ويكون هذا الاختلاف مناسباً أيضاً لهذه الأقال
الصغيرة جداً

وبعد تعيين نسبة قوة الاختلاف المنبهة والثقل الحادث منه هذا الاختلاف ينبغي
النظر هل مثل هذا القانون يبقى على حاله في صورة ما إذا حمل الجسم أثقالاً كبيرة
جداً أو لا وعليه ما يكون مقدار التغير الذي يعرض لهذا القانون
وقد ذكرنا أنواع الخشب الأربعة التي يغلب استعمالها في القنون مع بيان اسمائها
وربما استعمل من البلوط والزانج ما قطع منذ خمس وعشرين سنة تقريباً
كأخشاب السفينة الروسية المجهة ميخايل فانها تحترق سن ٨٠ سنة من
الميلاد بعد ان استعملت عشرين سنة

ومع ذلك لم تبق هذه الأخشاب على قوتها الأصلية لكن حيث كان المطلوب
تعيين القوانين التي تضبط بها قوة الأخشاب ومرونتها بواسطة نسب عامة
لا علاقة لها بالنسبة الحقيقية للألياف التي على صورة الخطوط والأبواب
الأشجار وأجناسها فإن هذه الأخشاب تقي بالمقصود من الاستعمال أكثر من
الأخشاب المقطوعة جديداً وبالجملة فالسرور والزان اللذان مضى عليهما بعد
القطع سنة واحدة يظهر من مرونتهما أن خواصهما دون خواص الأخشاب
التي مضى عليهما بعد القطع خمس وعشرون سنة وبهذا يتضح لماذا ذكرناه ويتنظم
في سلك البدييات

هذا وقد صنع أربعة مناشير أو متوازيات سطوح طول كل منها متران وبعض

شيء ومقدار ~~سما~~ كلاهما ثلاثة مستترات ووضع كل منشور منها بالتوالي على مسندين ثم وضع على منتصفه حل قدره ٤ كيلوغرامات ثم زيد على هذا الحمل حتى بلغ ٨ ثم ١٢ ثم ١٦ وهكذا الى ٢٨ كيلوغراما وقد اثبتنا في رسالتنا الجداول التي يعلم منها اولاهم القوس الذي تأخذه القواعد وثانيها الفروق الاولية التي تظهر بين هذه السهام وبالإطلاع على هذه الجداول يعلم أولاً أن ٨ كيلوغرامات يتقوس بها المنشور بقدر تقويسه بأربعة كيلوغرامات مرتين فقط ومثل هذا التناوب يحصل بالانفعاطات الصغيرة

وبالإطلاع ايضا على الجداول المتعلقة بسائر اخشاب البلوط والسرو والزان والرايخ يعلم أن الفروق الاولية الحاصلة بين السهام تكون آخذة في الزيادة دائما

وهذه الفروق وان كانت لا تختلف في الواقع عن خلال هين الا انه اذا وجد فيها فرق صغير جدا اعقبه بدون واسطة في الجهة المقابلة خلال يقوى الاول وحيث ان هذا الخلل لا يزيد عن واحد من عشرة من المليمتر فاذا استعملنا اخشابا محكمة الصناعة وعولنا في ذلك على الطرق الاخرى التي لم نذكرها ترتب على ذلك نتائج تكون فيها الفروق الثانوية ثابتة او متغيرة قليلا (والمراد بالفروق الثانوية الفروق البسيطة او الفروق الاولية الحاصلة بين جملة اعداد)

وعلى ذلك فيمكن أن تعتبر الفروق الثانوية الحاصلة بين الابعاد كأنها ثابتة اذا كانت الاتصال المحولة على قطعة واحدة ترتاد بفروق اولية ثابتة وهذا الصانون السهل مطابق بالكلية للتجربة بحيث اذا صنع من البلوط مثلا قطعة منتظمة على طبق الحدود المعلومة من التجربة فان ما يحصل من النتائج لا يتفاوت الا بقدر ٤ من عشرة من المليمتر ويكون الانحناء الكلي المتحصل مساويا ٠.٦ من هذه الاعشار وبذلك يسهل بيان هذا الخلل الهين وهو التفاوت المذكور وعند انحناء المنشور يكون على شكل قوس اطول من وتره فهو عند انحنائه لابد أن يتزحلق كثيرا او قليلا على المسندين وهذان المسندان عبارة عن ضلعين

من الخشب على طولها تترشق الالياف الخارجة من المشورز حلقا غير متواصل بل يكون بانقطاع تلك الالياف ووثيقا ووثوبا ظاهرا كثيرا كلبا وقليل ولا تنس اننا كما قمين بملء ليس بهائى مما يخص الفنون حتى الموازين المضبوطة ضبطا كافيا بحيث يتوصل بها فى تحرير الشئ وضبطه الى ما فوق واحد من عشرة من الق وسيسأتى أن كل فرق من الفروق الصغيرة النظرية والحسابية لا يتجاوز الحدة المعين لتحرير العمليات وضبطها

ولما اردنا أن نعرف نتيجة معادلات حل كبير جدا يبلغ قدره ٨٠ كيلوغراما فابلنا النتائج المتحصلة معنابالنتائج المتحصلة من حل يبلغ قدره ٤ كيلوغرامات فقط فوجدنا بمناسبة ذلك أن السرو يكون سهم قوسه صغيرا اذا كان الحل كبيرا ومثله البلوط والراينج والزان

ومن هنا النتيجة الثميرة وهى ان هذا الخشب يلقى اكثر من غيره من انواع الخشب التى تكون مقاومتها المنبهة عند الانحناء صغيرة وان كانت المقاومة المنبهة لاى نوع من انواع الخشب قوية جدا فى صورة ما اذا كان الحل كبيرا بالكفاية كما أن الفروق التناوية فيها تكون ايضا كبيرة فى هذه الصورة

ومن المعلوم أن الزان فى غاية من المرونة فلذا كان الخراط يصنع منه قوس مخرطه لانها به تكون منتظمة وكان اعظم المجاذيف والمدارى عند البصارة هو ما يتخذ من خشب الزان لانه يتحمل ما يعرض له من المجهودات العظيمة والمصادمات السريعة ومنشأ كون الفروق التناوية عظيمة فى الزان هو أن ما يعرض له من الانحناء عند وضع الانتقال عليه لا يجتمع من قبول تأثير المصادمات السريعة ولينه معها ولا يكون به عرضة للكسر

وبعكسه خشب السرو فانه لقله لينه وكونه عرضة للكسر كانت فروقه التناوية غير محسوسة تقريبا ففى على التلث من فروق الزان

وقد عينا التناقلات النوعية التى تكون لانواع الاخشاب الاربعة المذكورة فى التجارب المتقدمة فكانت فى الترتيب كالمقاومات التى تعرض عند الانحناء وينتج من ذلك قاعدة مهمة فى شأن الاخشاب حاصلها انه اذا كان هناك

سفينتان متحذتان في حجم الخشب لا في نوعه فالمصنوعة من الخشب الثقيل
يكون تقوسها او انحناءها دون تقوس السفينة المصنوعة من الخشب الخفيف

لان تقوس السفن يكون على حسب لين اخشابها
فاذن يلزم أن يكون تقوس سفن بحر بلطق والفلنك اكثرا من تقوس سفن

البحر المتوسط كما دلت على ذلك التجربة

فعلى ما ذكرناه اذا كان هناك سفينتان متحذتا الاخشاب ثقلا وقدر لا نوعا
فا كان منهما مصنوعا من الاخشاب الخفيفة يكون تقوسها دون تقوس الاخرى
في الانحناء فتكون اشد صلابة منها

والظاهر أن الشبر دون جرجى جوان وقف على الحقيقة في هذا المعنى
حيث اراد أن يصنع سفنا من الاخشاب الخفيفة كالاخشاب الصغية لامن
اخشاب البلوط

وبالجملة فالتيار يرب المتقدمة المتعلقة بمواد المقاومة المنبهة يؤخذ منها طرق
حساب النتائج المتشابهة وتخصيلها بدون احتياج الى عمل التجارب ذات
المصاريف التي تحصل في شأن تكسير قطع الاخشاب وبهذه الطريقة تعرف
اوصاف الاخشاب التي تلائم الاشغال المتنوعة في الفنون على العموم لاسيما في
المعارف البحرية ايجاد المعرفة وربما كان تعيين ابعاد قطع الاخشاب من كل
سفينة لاعلى حسب رأى المعمار واختياره بل على حسب ما يقتضيه مزاج
المصلحة ويتوصل بهذه العملية الواضحة الى نتائج اعم ففعلا كثر فائدة

وبعد أن ذكرنا التجارب الكثيرة التي حصلت في شأن قطع الخشب المتعدة
الصورة تكلمنا على القطع المختلفة الشكل والعرض فتوصلنا الى هذه النتيجة
الثابتة وهي

ان المقاومة الحاصلة عند الانحناء تكون مناسبة لمكعب الشكل وقد بينا
بالتواعد العملية حقيقة هذه التجربة

فاذا اتفق متوازي سطوح من الاخشاب فان أليافه الداخلة تنقبض وأليافه
الخارجة تنبسط ويبقى بينهما ليف متوسط لا يتغير طوله بل يبقى على حاله

مهما كان انحناء متوازي السطوح

ولاجل إثبات تأثير مد الالياف واتخاذها المخترع المهندس دو هاميل
تجربة بديدة وهي انه نشر من المنتصف شرا عموديا على اتجاه الالياف ثلاثة
ارباع سمك قطعة الخشب ثم ادخل في حز المنشار خابورا رقيقا جدا من خشب
اشد صلابة من خشب البلوط فاذا اسندت قطعة الخشب من طرفها وكانت
الواجهة التي بها حز المنشار في الجهة العليا وضعت عليها الاثقال ولكن مع
كونه نشر ثلاثة ارباعها فالربع الباقي من الالياف يمكنه المقاومة بسبب ما فيه
من اللين وقبول الانثناء بحيث تكون القطعة المذكورة باقية على قوتها الاصلية
فان كان حز المنشار غير متوغل وغائر كثيرا كانت القوة كبيرة والافضوية
ومنى نعين بالتجربة الوضع المضبوط لليف الثابت الذي لا يتغير سهل بذلك
استنتاج نسبة القوى اللازمة لتحصيل المد والقبض المقروضين في الياف
قطعة واحدة من الخشب واغلب ما وقع في طولون ودونكرل من
التجارب انما كان الغرض منه البحث عن هذا النوع وعما قيل نشر ذلك
وتشره

وبعد ان حصلت التجربة في تحميل قطع الاخشاب باثقال مجمعة حصلت ايضا
في تحميلها اثقالا موزعة على طولها توزيعا منتظما فوجد ان الاثقال سواء
كانت مجمعة في منتصف قطعة الخشب او موزعة على طولها توزيعا منتظما
تكون فيها نسبة الاسهم الى الانخفاضات الى بعضها كنسبة تسعة عشر الى
ثلاثين او خمسة الى ثمانية وهذه النسبة تكون واحدة في الاخشاب المتنوعة
المنصف او المختلفة الابعاد

فان اذا جعلنا ثقل قطعة منشورية من خشب وحدة فتضعيف خمسة اثمان
السهم الذي يكون لها عند اسنادها من طرفها اسنادا اقويا يتحصل السهم
الذي يكون لها عند تحميلها ثقلها مساويا لثقلها لكون بشرط اجتماعه
في منتصفها ويؤخذ من هذه القاعدة طريقة سهلة في وزن الاخشاب الثقيلة
الطويلة بدون موازين بشرط أن يكون محكمها ثابتا لا يتغير

وبعوض ما ذكرناه لاشئ اسهل من اعتبار ثقل واحد موضوع في منتصف قطعة من خشب كمثل موزع على طولها توزيعا منتظما وعكسه وفوائد ذلك كثيرة في الفنون

وقد عينا الخناء قطع الخشب مع مراعاة ابعاد المساند فكانت النتيجة أن كل قطعتين من الخشب يحكمهما واحد فنتيان كقوسين سهمهما مناسبان لكعبات ابعاد المساند ولا يخفى أن كل سهم بين المساند يكون ككعب السلك المقابل له وبانضمام هاتين القاعدتين الى هذه القاعدة وهي أن الانحناءات الصغيرة تكون فيها الاسهم مناسبة بالضبط للاجال توصل الى هذه النتيجة الغريبة

وهي أن نفرض قطعتين من الخشب متشابهتين بمعنى أن بعديهما المتناظرين متناسبان ونفرض انهما من جنس واحد فاذا اسندناهما من طرفيهما فان سهمي القوس الذي يحصل لهما بسبب ثقلهما الاصلى يكونان مناسبين بالضبط لمربعي طولى هاتين القطعتين وبناء على ذلك مهما كان المقدار الحقيقي لقطعتين المذكورتين فانه يكون لهما في المنتصف نصف قطر واحد من الانحناء ولا يختلف هذه النتيجة في صورة ما اذا وضع على القطعتين اتصال مجمعة او متوزعة الآن هذه الاتصال تكون مناسبة لنفس ثقل هاتين القطعتين

ومثل هذه النتيجة مستعملة غالبا في عمليات اشغال الفنون لان العبارات والالات على اختلاف انواعها مناسبة الاجزاء عادة فاذا كان المطلوب المقابلة بين سفينتين متعدد في المادة وكانت ابعاد موادها مناسبة لابعاد هاتين السفينتين فانه يستنتج من ذلك حيث لا مانع أن تقوس السفينتين يكون له في صورة انحنائهما الاكبر نصف قطر انحناء ثابت مهما بلغ مقدارهما الحقيقي

ثم انه يلزم الان معرفة ما به يكبر تقوس السفن الكبيرة عن الصغيرة في نسبة معلومة بقطع النظر عن جميع الاسباب فنقول ان سهم القوس يزاد كربع الابعاد الاصلية للسفينة فعلى ذلك يكون مقتضى ما اسلفناه في شأن السفينة التي طولها استون مترا وتقوسها نصف متر أن سهم قوس السفينة الصغيرة المشابهة لها التي طولها مترو واحد عوضا عن أن يكون جزء من ستين يكون ثلاثة

آلاف وسدس جزء من مائة من نصف متروهي نسبة بسيطة تتعلق بالاطوال
ولتشرع الآن في بيان تكسيرا الاخشاب فنقول ليست الاخشاب قابلة
لالاتقياض ومذممين بحيث اذا تجاوزتهما اندقت وبططت او تكسرت
وليس للقوى التي يحصل بها كسر الاخشاب علاقة مطردة بالقوى التي يحصل
بها الانحناء بل تختلف باختلاف انواع النباتات فقد يحدث عن بعض انواع
النباتات مقاومة قليلة بالنسبة للانحناء وكثيرة بالنسبة للتكسر وذلك كالقنب
في النباتات الصغيرة وكالزان والدردار والجوز والراينج وشحو ذلك في الاشجار
وقد يكون بعض الانواع بعكس ذلك فيحدث منها مقاومة كثيرة بالنسبة للانحناء
وقليلة بالنسبة للتكسر وذلك كالسرو والكايلي وشحوهما وبذلك يتحصل درجة
ثانية من الاخشاب وهناك انواع اخرى تكون مقاومتها كثيرة بالنسبة الى
الانحناء والتكسر جميعا كصنوبر جزيرة قرسقة والبلوط الشديد الصلابة
الذي هو اعظم المغروسات بالولايات الفرنسية

وهذه الاختلافات الطبيعية لها اهمية عظيمة في الفنون اذ بها يتعين ما تستعمل
فيه اقسام النباتات المتنوعة عند توفر الشروط اللازمة في ذلك فلا يستعمل
في العمارات الدائمة التي يلزم أن تكون موادها ثابتة لا تتغير وكذلك اجزاء
الالات المعدة للعمل مجهودات عظيمة الاخشاب النباتات الشديدة الصلابة
ويقدم منها خشب البلوط ثم ما كانت مقاومته للانحناء اكثر كاخشاب الدرجة
الثانية الا أن الاولى قصر استعمالها على الاشغال الخفيفة التي الغرض الاصلي

منها الزينة حتى لا تقع عليها مجهودات عظيمة
واما اخشاب الدرجة الاولى فينبغي قصرها على الاشغال التي يشترط فيها المرونة
وذلك كالعربات على اختلاف انواعها وآلات الزراعة وصواوي السفن
ومجاذيف المراكب الخفيفة وما اشبه ذلك

واذا اجريت عمليات التجربة والحسب على القوتين اللتين يكونان لاختشاب
النباتات العظيمة عند مقاومة الانحناء والتكسر عرفت خواص الاخشاب حق
المعرفة فاذا ن يمكن في جميع الاحوال أن تختار من الانواع ما يكون اتم ملائمة

للاستعمال ولكن ليس هذا الانتخاب سهل الحصول كما قد يتوهم إذا كان الموزنه اعانات عليه هينة ليست على ما ينبغي

ولنجث عن قوة الخشب عند مقاومتها للتكسير فنقول إذا اخذنا قطعة من

الخشب كقطعة **ابثدوف** (شكل ١) وثيناها على **ابثدوف**

(شكل ٢) فان ليف **ابث** الخارج يمتد وينسط وليف **دوف** الداخل يقبض وينكمش وإذا رسمنا عدة مستقيمت كستقيمت ١١ وب ٢ وج ٣

القائمة على واجهة **اثدوف** (شكل ١) فهما كان الانحناء الحاصل

لقطعة الخشب فان خطوط ١١ وب ٢ وج ٣ الخ تبقى دائما مستقيمة

وقائمة مع محيط **ابث** و **دوف** (شكل ٢) فاذن ألياف الخشب عند

انشائها على بعضها لا يترحلق بعضها على طول البعض الاثر مثلا بعض ألياف

الخشب المنحصر في مسافة ١٢٢١ (شكل ١) ينحصر ايضا في مسافة

١٢٢١ (شكل ٢)

والالياف الخارجة التي تمتد والالياف الداخلة التي تقبض يفصل بينهما

مرن والذي لا يمتد ولا يقبض فلذا سمى بالليف الثابت

ومتد الالياف خارج ليف **مرن** والثابت يكون مناسباً لبعدها عن هذا الليف

وكذلك انقباض الالياف داخله يكون مناسباً لبعدها عنه

وقد استتبطنا في التبذة السابقة من هذه القواعد الخواص النظرية المتعلقة

بمقاومة الاخشاب عند انحنائها او تكسيرها

وهناك اخشاب متعددة النوع والقوة متى ثبتت على اى منحني كان تكسرت اذا

امتدت أليافها الخارجة امتدادا تكون النسبة الحاصلة بينه وبين هذه الالياف

ثابتة

ولنفرض أن قطعة من الخشب منتبئة على محيط ما يزيد سمكها او يقص بشرط

أن يكون ليفها الخارج متجهها على اتجاه المحيط حتى تكثر سمك القطعة المذكورة

مرتين او ثلاثا او اربعا فان هذا الليف الخارج يتكسر ايضا مرتين او ثلاثا

اواربعاً فاذن اذا نقص منحنى محيط $\overline{ا ب ث}$ بنسبة ازدياد سمك قطعة الخشب المتقدمة فان درجة مزايا الف الخارج تكون واحدة دائماً

ومنى ثبت قطعة خشب كقطعة $\overline{ا ب ث}$ (شكل ٣) مستندة على مسندى $\overline{ا و ث}$ وواقع عليها تأثير قوة $\overline{ف}$ التى هى على بعد واحد من تقاطع $\overline{ا و ث}$ ظهر أن نصف قطر انحناء $\overline{ا ب ث}$ فى نقطة $\overline{ب}$ التى هى منتصف هذا المحيط يكون مناسباً لمكب بعد $\overline{ا ث}$ عن مسندى $\overline{ا و ث}$

وفى الانحناءات الصغيرة جداً يكون $\overline{ر}$ الذى هو نصف قطر انحناء $\overline{ا ب ث}$ مناسباً $\frac{\overline{ا ث}^2}{\overline{غ ب}}$ يجعل $\overline{غ ب}$ عبارة عن سهم $\overline{ا ب ث}$ فاذن يحدث

$$\overline{ر} = \frac{\overline{ا ث}^2}{\overline{غ ب}} \text{ و } \overline{غ ب} = \frac{\overline{ا ث}^2}{\overline{ر}}$$

وحيث ان قوة $\overline{ف}$ مناسبة $\overline{غ ب}$ فان $\overline{ف}$ تكون مناسبة $\frac{\overline{ا ث}^2}{\overline{ر}}$

ولكن حيث ان القوة اللازمة للانحناء تكون على نسبة مطردة من سهم $\overline{غ ب}$ ومنعكسة من مكعب $\overline{ا ث}$ الذى هو بعد المسدين فاذا جعلنا $\overline{د}$ رمزاً الى عدد ثابت حدث

$$\overline{ف} = \overline{د} \frac{\overline{غ ب}}{\overline{ا ث}^3} \text{ و } \overline{ف} \times \overline{ا ث}^3 = \overline{د} \frac{\overline{غ ب}}{\overline{ا ث}^2}$$

واذا فرضنا قطعة خشب اخرى كقطعة $\overline{ا ر ث}$ (شكل ٤) ممكها كسمك قطعة $\overline{ا ب ث}$ (شكل ٣) حدث ايضا

$$\overline{ر} = \frac{\overline{ا ث}^2}{\overline{غ ر}} \text{ و } \overline{ف} \times \overline{ا ث}^3 = \overline{د} \frac{\overline{غ ر}}{\overline{ا ث}^2}$$

وحيث كان يلزم أن $\bar{r} = \bar{r}$ في حالة التكسير لم أن يكون

$$\frac{\text{ا ث}^2}{\text{غ ب}} = \frac{\text{ا ث}^2}{\text{غ ب}} \quad \text{فبنا على ذلك يلزم أن يكون} \quad \text{ا ث}^2 \times \frac{\text{غ ب}}{\text{ا ث}^2} = \text{ا ث}^2 \times \frac{\text{غ ب}}{\text{ا ث}^2}$$

$$\text{ا ث}^2 \times \frac{\text{غ ب}}{\text{ا ث}^2} = \text{ا ث}^2 \times \frac{\text{غ ب}}{\text{ا ث}^2} \quad \text{فاذن يكون} \quad \text{ا ث}^2 \times \text{ف} = \text{ا ث}^2 \times \text{ف} \quad \text{ا ث}^2 \times \text{ا ث}^2$$

انه اذا اثبتت قطعة من الخشب بين مسندين بعدهما متغير حصل التكسير بواسطة تأثير قوة تزداد بنقصان بعد المسندين وبالعكس

واذا التقنا الى كل من سمك \bar{b} وبعد \bar{a} معا جعلنا \bar{m} رمزا الى عدد ثابت كان مقدار قوة \bar{f} التي ينشأ عنها الانحناء هو

$$\text{ف} = \bar{m} \times \text{غ ب} \times \frac{\bar{b}^2}{\text{ا ث}^2} = \bar{m} \times \frac{\text{غ ب}}{\text{ا ث}^2} \times \frac{\bar{b}^2}{\text{ا ث}^2}$$

فاذا بلغت الاختلاف المختلفة السمك الحالة التي يحدث فيها التكسير كان نصف قطر \bar{r} على نسبة مطردة من سمك قطع الخشب فاذن اذا جعلنا \bar{c} عبارة عن عدد ثابت حدث

$$\bar{r} = \bar{c} \times \bar{b} \quad \text{فاذن يكون} \quad \bar{f} = \frac{\bar{c}}{\bar{a}} \times \frac{\bar{b}^2}{\text{ا ث}^2}$$

فاذن اذا كان \bar{a} الذي هو بعد المسندين باقيا على حالة واحدة كانت قوة \bar{f} التي يحدث عنها التكسير مناسبة لمربع السمك

وهذه الخواص عامة في متوازيات السطوح المرة التي تنكسر بمجرد انحنائها انحناء صغيرا جدا والمتوازيات المذكورة اما من الخشب او الحديد او النحاس او الحجارة او نحو ذلك ومن هنا تحدث نتائج مهمة في الصناعة

وعوضا عن أن نستعمل الشواحي والعوارض والاختلاف المربعة على حسب الاصطلاح القديم نجعلها رقيقة جدا اذا كانت اقبية وعريضة جدا اذا كانت رأسية لما في ذلك من مزيد الفائدة

ولتذكر هنا الفرق بين عارضتين موضوعتين بين مسندين متحدين الطول وشكل
أحدهما ١ وعرضها ٩ (شكل ٥) وعرض الأخرى ٣ وشكلها ٣
(شكل ٦) فنقول

أن مقاومة العارضة الأخيرة تكون مناسبة لعارضها وهو ٣ مضروباً
في مربعه وهو ٩ فحقيقته يكون $9 \times 3 = 27$ هو مقدار مقاومة
هذه العارضة المربعة عند الكسر ويكون مقدار مقاومة العارضة الرقيقة
المساوية للمتقدمة في الحجم عند الكسر $9 \times 9 \times 1 = 81$
فعلى ذلك تكون العارضة الرقيقة ثلاثة أمثال العارضة المربعة في الشدة
والصلابة

وإذا كان هناك قطع خشب أو حديد أو نحوها متفرقة سواء كان المطلوب
استعمالها في عمارة أو آلة وكان الغرض منها مقاومة الشيء ثم الكسر في جهة معينة
لزم أن يكون شكلها كبيراً في تلك الجهة بقدر الإمكان مع تقليل عرضها
في الجهة العمودية

وهكذا كانت تخشيات فليبيرت دلورم المهندس الشهير وهو أول من صنع
تلك التخشيات واستعملها وكيفية ذلك أن تصف الألواح المتقاطعة الأطراف
بجوار بعضها بواسطة مسامير ذات برعمة محقوفة فيما تضام هذه الألواح إلى بعضها
يتكون منها تخشيات خفيفة إلا أنها متينة صلبة تتحمل القباب والسقوف
وما أشبه ذلك

فإذا اقتضى الحال مقاومة الشيء والكسر في جهتين عموديتين على بعضهما فلا بد
من وجود المئانة والوفر مع ذلك باستعمال قطع أخشاب صورة جانبها كصورة
الصليب اليوناني (شكل ٧) أو كصورة (شكل ٨) التي بطرفيها
ثنيات بارزة جداً ويكثر استعمال هذه القواعد في صناعة الآلات المتخذة من
الخشب والمعادن

وإذا فرضنا أن المستعمل قطع مسندية فإن مقاومتها عند الكسر حيث أنها
مناسبة للعروض البسيطة ومربعات السموك تكون أيضاً مناسبة للقطر

مضر وباقى مربعه اعنى في مكعب قطر الاسطوانات غير المجوفة المستديرة التي
يقع عليها تأثير الثني ثم الكسر

وفي الاسطوانات المجوفة فرائد عظيمة لكونها تقاوم الكسر مقاومة جيدة وذلك
لانتظامها وحسن صورتها وكذلك في المواد الطبيعية ماهو من قبيل هذه
الاسطوانات المستعملة في جميع ما تحتاج اليه تلك المواد من المقاومات العظيمة
مع صغر موادها جدا وذلك كريش الطيور فانه على صورة اسطوانات مجوفة
بالنظر للجزء الشبيه بذراع رافعة صغير التي يقاوم الاعصاب القوية المعدة
لتحريك الاجنحة واذا تابأت خفة الريش بمتانته وجدت خفته قد بلغت الغاية
بحيث يضرب بها المثل

وهذه الخاصية توجد ايضا في الاشياء الاصطناعية كالاعدة المجوفة المتخذة
من حديد الزهر فان لها زيادة على فائدة مقاومتها في سائر الجهات بالسوية فائدة
اخرى وهي جعلها بين المتانة والخفة اكثر من الاعدة غير المجوفة
ومن هذا القبيل ايضا مساند اسرة العساكر فانها على غاية من الخفة والمتانة
وذلك باخذ القوائم والعوارض من النحاس على صورة اسطوانات مجوفة
وهناك كثير من هذا القبيل

(الدرس الخامس عشر)

(في بيان اصطدام الاجسام)

قد سبق ذكر المقاومات غير البيئة التي تعرض في كل وقت لتحرك الاجسام
التماسة المحتكة على بعضها ولتذكر الان نوعا آخر من المقاومة وهو الذي يحصل
عند تلاق جسمين متحركين على حين غفلة كأنما مفصولين عن بعضهما بمسافة
حينما اتفق وهو المعروف بالاصطدام او بالالتطام فتقول

ان سائر الاجسام الطبيعية في حال اتفرادها اذا وقع عليها تأثير قوة واحدة
او عدة قوى فانها تقبل تأثيرها بكيفية واحدة وتكون سرعتها واحدة اذا كانت
القوى المتحركة لها متساوية وكان مجسما واحدا

ولكن اذا تلاقى جسمان نشأ عن اصطدامهما حوادث متباينة كل التباين

والاجسام المعروفة بالصلبة هي التي تبقى على صورتها الاصلية عند اصطدامها
بكل جسم ثبتت هذه الخاصية اعني عدم تغير صورته عند الاصطدام يسمى
بجسما دافعا واما الاجسام الرخوة فهي التي تغير صورتها بالاصطدام او يجرد
الضغط

فاذا اريد تفريق اجزاء جسم رخو بواسطة ضغط او اصطدام او قنا عليه تأثير
مقاومة كبيرة او صغيرة بخلاف ما اذا اريد تفريق اجزاء جسم مانع فلا يلزم
ايقاع تأثير مقاومة ما عليه

وهناك اجسام كالهواء الجوى والغازات على اختلاف انواعها تحتاج الى ضغط
دائم حتى لا تدفع اجزاؤها المتنوعة بعضها بعضا ولا يتباعدا عن بعضها بكمية
لا تعرف حدودها الى الآن

ولنبذة بالنوع الاول من الاجسام وهي الصلبة فنقول من الاجسام الجامدة
ما لا يلحقه ادى تغير في صورته ولوقبها وهذه هي الاجسام التي يصح أن تسمى
بالاجسام التامة الصلبة ومنها ما يلحقه بعض تغير وقتي يزول بعد الاصطدام
وهي المعروفة بالاجسام التامة المرنة ومنها ما يتغير جزءه من صورته بالاصطدام
او الضغط وهي المعروفة بالاجسام الرخوة او غير تامة المرونة

ولاجل زيادة التوضيح نفرض أن جسمين بجسمي \bar{A} و \bar{B} (شكل ١)
يتحركان على مستقيم \bar{G} \bar{G} المار بنقطتي \bar{G} و \bar{G} اللتين هما
مركزا ثقل هذين الجسمين وأن نقطة تماسهما هي \bar{C} تكون عند

الاصطدام على مستقيم \bar{G} \bar{G}

فاذا حصل الاصطدام وكانت القوتان الدافعتان للجسمين مؤثرتين على مستقيم
 \bar{G} \bar{G} المذكور فان محصلتهما تكون مساوية لمجموعهما وفاضلهما على
حسب اتجاههما الى جهة واحدة او الى جهتين متضادتين

واذا كان مجسم الجسمين واحدا وكانا مدفوعين بسرعتين متساويتين
ومتضادتين كانا متوازنين لانه حيث كانت القوتان المحركتان متساويتين
في الجهتين كان فاضلهما صفرا

واما اذا اختلف الجسمان في الجسم أو السرعة فانه من حيث ان وحدة القوة
تدل عليها المسافة التي تقطعها وحدة الجسم بواسطة هذه القوة في مدة وحدة
الزمن يكون العدد الكلي - المذال على قوة احد الجسمين المتحركة هو عدد آحاد
جسم الجسم مضروبا في عدد آحاد المسافة التي تقطعها الجسم مدة وحدة
الزمن

مثلا اذا فرضنا أن وحدة القوة هي الوحدة التي تنقل كيلوغراما واحدا الى
مسافة متر واحد مدة ثانية واحدة ظهر لنا قورا أن القوة التي تنقل في مثل هذا
الزمن عشرة كيلوغرامات الى مسافة متر واحد او كيلوغراما واحدا الى مسافة
عشرة امتار تكون اكبر من المتقدمة بعشر مرات ويظهر لنا ايضا أن القوة التي
تنقل في الزمن المذ كور عشرة كيلوغرامات الى مسافة عشرة امتار تكون اكبر
من القوة المذ كورة بمائة مرة وهم جزا

واذا قدرنا بهذه المثابة القوة للوزنة في الاجسام المتحركة تتحرك كما منتظما بواسطة
اثقالها مضروبة في المسافة التي تقطع في مدة وحدة الزمن اعني بواسطة افعالها
مضروبة في سرعتها تحصل معنا ما يعرف بكمية تحرك الاجسام

فاذا جعلنا م و م رمزين للجسمي غ و غ و ق و ق و ن
رمزين للسرعتين الدافعتين لهما التحصل معنا كيتا تحركهما وهما م ق و م ن
اعني القوتين الدافعتين لهما وتجعل خ كتابة عن م ق و غ كتابة
عن م ن

ومنى تحرك الجسمان في جهتين متضادتين كان فاضل القوتين المتحركتين وهو

م ق - م ن هو القوة المحصلة المتحركة للجسم م + م
وحيث ان هذه القوة مساوية للجسم مضروبا في السرعة فالسرعة تساوي
القوة مقسومة على الجسم فاذن تكون السرعة التي يتحرك بها الجسمان هي

$$\frac{م ق - م ن}{م + م} = \frac{خ - غ}{م + م}$$

وفي الاصطدام الذي المختبرنا تأثيره تكون كمية التحرك الكلية قبل الاصطدام هي
 $م ق + م ن$ ولا تكون بعده الا $م ق - م ن$ فاذن تكون كمية
 التحرك التي اعدمها الاصطدام مساوية $٢ م ن$

فعلى ذلك اذا تصادم جسمان متجهان الى جهتين متقابلتين ولم يكونا مرتين
 فان نعينت كمية تحرك كل منهما كانت كمية التحرك التي اعدمها الاصطدام
 مساوية لضعف اصغر الكميتين المذكورتين

فاذا اريد حيثئذ أن لاتعتمد قوة ما في تحرك الاكالات لزم أن لا يكون هنالك
 اصطدام بالكلية بين الاجزاء المتنوعة من هذه الاكالات المتحركة في جهات
 متقابلة وهذه قاعدة مطردة ينبغى العمل بها في صناعة الاكالات وتحركها
 فان كل وثبة او تحرك سريع يشاعنه ضرران احدهما تنقيص كمية التحرك
 دائما وثانيهما تغيير صلابة الآلة ومدتها

واذا تحرك الجسمان في جهة واحدة فان القوة المحصلة المحركة لجسم $م + م$
 تكون في مدة الاصطدام $م ق + م ن$ وتكون السرعة التي يتحرك بها
 هذان الجسمان هي

$$\frac{م ق + م ن}{م + م} = \frac{خ + غ}{م + م}$$

ولنوضح كيفية تقدير توزيع القوى في اصطدام الاجسام الجامدة بهذه العملية
 فنفرض أن لجسم $خ$ مجسم قدره ٣ كيلوغرامات ولجسم $غ$ مجسم
 قدره كيلوغرام واحد ونفرض ايضا أن $خ$ يقطع مسافة مترين في مدة
 ثانية واحدة وأن $غ$ لا يقطع في هذه الثانية الا مسافة مترواحدة فتكون كمية
 تحرك جسم $خ$ هي $م ق = ٢ \times ٦ = ١٢$ وكمية تحرك جسم

$$غ هي م ن = ١ \times ١ = ١$$

فاذا تقر هذا وتحرك الجسمان في جهتين متضادتين حدث $م ق - م ن$
 $٦ - ١ = ٥$ و $م + م = ٣ + ١ = ٤$

فأذن تكون السرعة المشتركة بين الجسمين بعد اصطدامهما $\frac{1}{2}$ اعني أن كلا من الجسمين يقطع $\frac{1}{2}$ من المتر في الثانية الواحدة بعد الاصطدام فإذا كان الجسم الصغيره سرعة يقطع بها مسافة ٦ امتار في الثانية الواحدة فإنه يحصل

$$م = 1 \times 6 = 6 \text{ فأذن تكون } م = 6 \text{ و } م = 6$$

وبناء على ذلك يحصل التوازن

فإذا اريد اعدام تحرك جسم دفعة واحدة كان لذلك ثلاثة وجوه الأول أن يدفع عليه جسم مساو له في الجسم ويكون سيره اليه بسرعة كسرعته والثاني أن يدفع عليه جسم اخف منه لكن تكون سرعته اعظم من سرعته والثالث أن يدفع عليه جسم اثقل منه لكن تكون سرعته ابطأ من سرعته

وفي اشغال الفنون دائماً شواهد دالة على انواع التوازن المختلفة التي تحصل من تأثير الاصطدام بواسطة خشبة او قضيب او مطرقة او عصي ثقيله قليلا او كثيراً على حسب مجسم الجاد او الحيوان الذي يدفع على النوع الانساني ويمكن باستعمال سرعة عظيمة اضعاف حركة الحيوان او الجاد وتأخير او معوقه كما هو العالب فن ثم نرى الصبيان الذين يسرعون العدو والجرى يسقط باصطدامهم من هوا كبيرواقل منهم بكثير كالرجال اذا كانوا يمشون الهوا يتأمن هذا القليل ايضا العربية الخفيفة التي يكون اندفاعها بسرعة عظيمة فانها عند الاصطدام تقرب العربية التي تكون اثقل منها اذا كان سيرها هينا

ويستنتج من قوانين اصطدام الاجسام نتائج مهمة تتعلق بالفنون الحربية اقتصرنا في بيانها هنا على فن واحد من تلك الفنون حاصله

(انه عند اصطدام جيوش الخيالة في الحرب تكون الكاثبات ذات صف او صفين ثم ترتفع بسرعة تزايد بالتدريج حتى تصادم ما يقابلها من الكاثبات خيالة كانت او قزابة والغرض هنا معرفة ما يحصل حينئذ مما يخص هذا الموضوع فنقول

ان الجهة التي تكون فيها كمية تحرك الكتيبة اعني مجموع ثقل الخيول وعددها والخيالة والاسلحة مضروبا في السرعة عظيمة تظهر بالضرورة على غيرها

وتظهر بها وتكون كمية التحرك التي تفضل بها الكتيبة الصادمة على الكتيبة
المصدومة مساويا لقاضل كيتي تحركهما مقسوما على مجموع الكتيبتين
ولنفرض أن الكتيبة المهجوم عليها ثبت محلها او تمشى الهوا متاحق تصادمها
الكتيبة الهاجمة بحيث ان كمية تحرك الكتيبة المهجوم عليها تساوى الكتيبة
مضروبة في سرعة تساوى صفرا فان هذه الكمية تصير معدومة فلا تكون
موازاة لكمية تحرك الكتيبة الهاجمة

وقد دلت التجربة على أن الجيوش الخيالة الموقفة من خيول ورجال شداد ثقال
لا يمكنها أن تصبر وتثبت لمصادمة جيوش خيالة اخرى اخف منها لكن اذا كانت
سرعتها متوسطة فانها ربما وازنت مع الجيوش الخفيفة او قلبت خيولها
ورجالها الخفاف المتدفعين عليها بسرعة عظيمة ثم ان الغرض الاصل من هجوم
الخيالة هو تحصيل اعظم درجة من السرعة عند المصادمة ولاجل معرفة الكيفية
التي يتوصل بها الى ذلك نقول

ان حصول التحركات في وقت الاصطدام لا يتعلق الا بالكتيبة والسرعة في هذا
الوقت فيمكن أن تكون هذه السرعة باقية على حالها عند الاصطدام ولو بلغت
قبل ذلك ما بلغت ليكون التأثير واحدا واذا كان المطلوب مثلا تلطيف تحرك
جسم ثقيل وقع من ث الى ح (شكل ٢) بسرعة مجزئة فلا يلفت

عند وصوله الى ح الى ما كان له من السرعة في ع و ح و ع الخ
اذا كانت كمية تحركه واحدة في ح المذكورة اعنى اذا كان متحركا على
الدوام بسرعه الاصلية ولم يأخذ في مبدئه تحركه سرعة هينة تزداد بالتدريج
فاذن تكون مصادمة الشامردان المتجاورين واحدة اذا كانت سرعته واحدة دائما
في وقت الاصطدام

فعلى ذلك يوجد في الاصطدام وفرع عظيم في القوى اذا كان التحرك في مبدئه الامر
بطيئا بالتدريج وكانت السرعة تزداد بالتدريج بحيث لا تبلغ نهايتها الكبرى
الا في وقت الاصطدام

ولندكر لك وفرع القوى الذي يحدث في مصادمات الخيالة فنقول ان اعظم جزء

من المسافة المطلوب قطعها قبل الاصطدام يكون قطعه بالهوى بنا خطوة خطوة
والجزء الثاني يقطع بالهرولة والثالث بالخبب والرابع وهو الاخير بالركض
والعدو بحيث لا تقطع فيه حركة الخيل وتكون كلها في التحرك بكسب واحد
فاذن يكون الاصطدام في الحقيقة واحدا كما لو كان الشبول من مبداء الركض
السرعة التي اكتسبتها اخيرا لكن لا يمكنها أن تقطع مسافة عظيمة بمثل هذه
السرعة لان ذلك يؤدي الى قصور همتها وانعدام قوتها من غير أن تصد فيا قوة
اخرى

ويظهر أن تطبيق قواعد اصطدام الاجسام على حركات الخيالة في غاية من
الوضوح والظاهر ايضا انه يمكن ضبطها على اسهل وجه ومع ذلك فلم تكشف
ويوقف على حقيقتها الا بعد مضي عدة قرون

وذلك أن الامة الرومانية مكنت في الحرب ثلثمائة سنة وهي لا تعرف تأخير سرعة
الخيول في قوة المصادمات الواقعة من الخيالة بخلاف خيالة النوميديّة الخفيفة
فانها علمت بهذه القواعد قطرفت بخيالة الرومان الثقيلة في جميع مصادماتها
وايضالما كانت قلّة سرعة الخيالة الرومانية تمنعهم عمالا بدلتهم منه كان امراء
الرومان الشوالية يتهبزون القرصة وينزلون على الارض ويقاقلون بجميع كبة
التحرك التي تصدر من الابطال وغول الرجال الذين لا يلحقهم التعب من المشى
ولامن الجرى

وقدمكنت قواعد اصطدام الاجسام المطبقة على حركات الخيالة وعلى نصرات
فريد ريق التي حازها بحسن مراعاته لهذه القواعد مجهولة عند المتأخرين
الى القرن الاخير من تاريخ ذلك العصر

وتجبرى هذه القواعد ايضا في حروب القرابة وسائر الجيوش على اختلافها
لا سيما في الحروب التي تكون فيها الكتائب عظيمة وليس هذا محل بسط الكلام
على هذه القواعد فانها مما يخص المدارس العسكرية دون غيرها

هذا وقد اعتبرنا فيما سبق الى هنا الاجسام المتصادمة كأنها نقط مادية ولنعتبر
الآن امتدادها وصورتها حتى نتضح لنا احوال توازنها ونحتر كما نقول

إذا فرضنا أن جسمي $\overline{م}$ و $\overline{م}$ (شكل ٣) يتحركان في جهة واحدة
 اوجهتين متقابلتين على اتجاه مستقيم $\overline{غ}$ الواصل بين مركزي الثقل ثم فرضنا
 أن سطحى هذين الجسمين عمودان في قطب $\overline{ث}$ و $\overline{ث}$ على مستقيم $\overline{غ}$ المذكور
 فإن القوة التي يتصادم بها جسم $\overline{م}$ مع جسم $\overline{م}$ تنعدم بواسطة سطح $\overline{م}$
 وكذلك القوة التي يتصادم بها جسم $\overline{م}$ مع جسم $\overline{م}$ فإنها تنعدم أيضا
 بواسطة $\overline{م}$ هذا إذا كانت كمية تحرك الجسمين واحدة

ولنفرض الآن (شكل ٤) أن سطحى الجسمين مائلان بالنسبة لمستقيم
 $\overline{غ}$ إلا أنهما متوازيان في $\overline{ث}$ و $\overline{ث}$ الموضوعتين على مستقيم $\overline{غ}$
 الواصل بين مركزي ثقل جسمي $\overline{م}$ و $\overline{م}$

وهذان الجسمان يتماسان عند الاصطدام (شكل ٥) ولكن $\overline{اث}$
 و $\overline{اث}$ رمزين إلى جزئى مستقيم $\overline{غ}$ الدال على كميتى التحرك
 الدافعتين لجسمي $\overline{م}$ و $\overline{م}$ ولنفذ $\overline{بث}$ عمودا على الاتجاه المشترك
 بين جسمي $\overline{م}$ و $\overline{م}$ في $\overline{ث}$ ثم نفذ $\overline{اب}$ و $\overline{ا}$ عمودين على
 $\overline{بث}$

فإذا حصل الاصطدام تحركا أولا جسما $\overline{م}$ و $\overline{م}$ تحركا مستقيما
 في جهة $\overline{غ}$ بسرعة مشتركة مقدارها $\frac{\overline{اث} + \overline{اث}}{\overline{م} + \overline{م}}$
 وثانيا يدور $\overline{م}$ و $\overline{م}$ حول مركزي ثقلهما بسرعة مساوية بالتناظر
 $\overline{ثب} - \overline{ثب}$ و $\overline{ثب} - \overline{ثب}$ ومقسومة على مقدار
 اينرسي $\overline{م}$ و $\overline{م}$

ويؤخذ من هنا أن الجسمين يتصلان عن بعضهما بعد الاصطدام في صورة
 ما إذا لم يكن سطحهما عمودا على المستقيم المتضمن مركزي ثقلهما
 وهناك صورة أصعب من ذلك وهي صورة (شكل ٦) لتكون فيها نقطة

تماس الجسمين عند الاصطدام موجودة على المستقيم الواصل بين مركزي ثقل
و غ و غ

ولما انهيينا الكلام على احوال الاصطدام في صورة ما اذا كان الجسمان متجهين
على مستقيم واحدنا سب أن نكلم عليه في صورة ما اذا كانا متجهين على خطين
بينهما زاوية ما ويتلاقيان في نقطة ١ (شكل ٧) فنقول لتكن ح و خ
هما القوتان الدالتان على كمية التحرك الدافعتين للجسمين فاذا رجعا متوازي
الاضلاع وهو ا ب د ث الذي ضلعا وهما ا ب و ا ث مناسبان
لقوتى ح و خ كان وزه وهو ا د دالا على كمية التحرك الدافعة
للجسمين المتلاقين في نقطة ١ وعلى الاتجاه المشترك الذي يتبعه هذان
الجسمان بعد الاصطدام اذا لم يكونا مرتين فاننا اذا جعلنا م و م و م

الجسمي الجسمين فان سرعتهما بعد الاصطدام تعلم من $\frac{اد}{مق + م}$ و ا د

هو عبارة عن كمية التحرك

وتكون قوانين توصيل التحرك واحدة اذا كان كل من الجسمين يتحرك على منح
متواصل عوضا عن تحركهما على مستقيم واحدا لهما يقطعان في الزمن التليل
الذي يعقب الاصطدام مسافة تنطبق على مستقيم صغير تماس للمنحنى في النقطة
التي يحصل فيها الاصطدام

فعلى ذلك اذا اخذنا مثلا بندولين بسيطين كيبندولى ح و ح
(شكل ٨) متحدين في الطول فهما كان جسميهما هذين البندولين فان قوانين
الاصطدام تصير عين القوانين التي توجد في صورة ما اذا كانا يتصادمان معا
في الوض الذي يكون فيه كل من خطيهما رأسيا لان جسمي ح و ح
يصلان الى هذا الوضع يكون احدهما يقطع خ ح والاخر يقطع غ ح

الماسين في ح و ح لمستقيم ط ط
فاذا رفعنا حيث نثد الى ارتفاع واحد من خ و غ مجسمي ح و ح

المساويين فانهما يمتثلان في زمن واحد بسرعة واحدة الى وضعي ح و ح
فيتصادمان فيما لكن حيث ان الجسمين المضروبين في سرعتيهما متساويان
هنا من الجهتين فان التوازن حيثئذ يكون حاصل ولا يتحرك الجسمان بعد
الاصطدام

فاذا كان احد الجسمين كبيرا حصل التحرك في جهته على حسب القانون المعلوم

$$\text{من معادلة} \quad \frac{م ق - م}{م + م}$$

ولتختبر الان اصطدام جسم يتحرك تحركا مستقيما مع جسم يتحرك وهو دائر
على نفسه فنقول

نفرض أن جسما بجسم م (شكل ٩) مركزه في غ يدور حول
محور ث المين بنقطة ث وقد ائنا في الدرس السابع من هذا الجزء
انه يوجد على امتداد مستقيم ث غ نقطة كنقطة ث فهذا يمكن
أن نفرض دائما أن مجسم جسم م يكون محصورا تماما في نقطة ث
ويكون زيادة على ذلك مدفوعا بساكنة التحرك التي تكون للجسم بدون تغير
سرعة هذا الجسم المتزوية ولنفرض ايضا أن جسم م يعارضه عند تحركه
مانع مثل م وانه في نقطة أ التي يعرض فيها هذا المانع للجسم يكون سطح
المانع و سطح الجسم عمودين على خط ث أ العمودي على ث ث فينعدم
جميع تحرك الجسم بسبب هذا المانع الثابت بالفرض فاذن يبقى الجسم ساكنا
بواسطة تأثير الالتطام وعند الاصطدام لا يكون محور ث ثابتا وتعرف
نقطة ث المذكورة بمركز الالتطام

فاذا كان المانع الثابت المدلول على مقاومته بحرف ف على وجه بحيث
يكون بعد ث د اكبر من ث ث (شكل ١٠) او اصغر منه (شكل ١١)
فان محور الدوران تعرض له مقاومة من تأثير الاصطدام

وجسم م الواقع عليه تأثير قوى ف و ف يكاد ينفي أو ينكسر
بين ث و د (شكل ١٠) وكذلك بين ث و ث (شكل ١١)
فيحدث بموجب توازن القوى للتوازية

$$\text{ف} \times \text{ث} = \text{ف} \times \text{ث}$$

وزيادة على ذلك يكون تأثير ف الحاصل من المحور بواسطة الاصطدام
ساويا ف - ف (شكل ١٠) و ف - ف (شكل ١١)

وحينئذ فكما كان الاصطدام حاصل على مستقيم اف ولم يكن على
بعد من ث = ث عرض لمحور ث الثابت مقاومة من الاصطدام

فاذا كان ث (شكل ١٠) اكبر من ث دعت مقاومة

الاصطدام المحور الثابت الى جهة مضادة لجهة دوران جسم م واذا كان

ث اصغر من ث دعت مقاومة الاصطدام المحور الثابت الى جهة

دوران جسم م وهذه النتائج تستعمل بدون واسطة في اشغال الفنون

فستعمل غالبا المطارق والمقاع التي تتحرك تحرك دوران لاجل تحصيل

الاصطدامات * ولكيلا يعرض لمحور المطرقة وهو ث (شكل ١٢)

مقاومة ما عند الاصطدام يلزم استيفاء جميع الشروط الموجودة في شكل ٩

فعلى ذلك اذا كان م هو الجسم الموضوع على السندال و ا هي النقطة التي

يقع عليها دق المطرقة كان مستقيم اف العمودى في نقطة ا على سطح

المطرقة مارا بنقطة ث التي هي مركز الالتظام وكان مستقيم ث

عمودا على ا

فاذا حرك الصانع المطرقة بيده (شكل ١٣) فان لم تكن جميع الشروط المذكورة

مستوفاة عرض لليد مقاومة مؤلمة وتكون تلك اليد مدفوعة الى جهة مضادة

لجهتها او مضغوطة في جهة التحرك الحاصل له على حسب قرب النقطة التي يقع

فيها الاصطدام قربا قليلا او كثيرا وبعدها كذلك عن محور دوران المطرقة

ثم ان الاصطدام المستقيم بحسم يستعمل في تحريك بندول يرتجح حول محور
ومثل هذا التأثير يقع في التجارب الحاصلة في شأن البندولات الطولية
فلنفرض كتلة متجسمة من الخشب ككتلة M (شكل ١٤) محاطة بروابط

من حديد ومعلقة في محور θ بتضبان من حديد ايضا

ونطلق رصاصة او كتلة ككتلة m في بندول m ولا بد أن نخذفها بحيث
تكون على اتجاه المستقيم المار بنقطة θ التي هي مركز الالتظام فاذا افينا
بذلك لم يعرض لها مقاومة ما على محور الدوران وهو θ وتكون سرعة
البندول المتزوية مساوية $m \times \theta$ ومقسومة على مقدار اينرسي
البندول الذي تدخل فيه الرصاصة

فاذا علمت مقدار اينرسي البندول وبحسب m و θ وبعد θ علمت
بواسطة عملية سهلة سرعة كل من هذين الجسمين عند الاصطدام وهذه هي
الكيفية المستعملة في قياس سرعة المخدوفات قياسا صحيحا ولهذا القياس
اهمية عظيمة في فنون الطوبجية

وقد تقدم أن القوى تتعدم كلما كان تأثيرها واقعا في جهات متقابلة فاذا كان
المطلوب أن القوى لاتتعدم كما هو الواقع في اغلب الآلات لزم أن تجتنب
في هذه الآلات حسب الامكان الاصطدامات الناشئة من التحويلات
في جهات متضادة

ويلزم لذلك ايضا اجتناب الاحتكاكات التي عوضا عن أن تكون متواصلة
وغير ظاهرة تكون حاصلة بواسطة رجات ووثبات ومقاومات ينشأ عنها دائما
بعض اصطدامات مضرّة وحيث ان هذه الاصطدامات لها دوى وقرعة
ويتخلل بها ما تلاقبه علم من ذلك أن اجود الآلات هو ما يكون تحرّك صادرا
مع الانتظام واللفظ بدون قرعة ولا اضطراب

ومن اهم الاشياء ما يستعمل من الاحتراصات في اجتناب مثل هذه
الاصطدامات في الطارات المضترعة

فلنفرض (شكل ١٥) أن ضرس د من طارة و ينقلب في وقت دفعه لطريرس ز من طارة و قبل أن يصل ضرس د إلى ضرس ك من الترس الصغير فلا يجد هذا الترس حيقنذ ما يعارضه فإذا وقع عليه تأثير قوة تحرك تحركا تقهقريا حتى يتلاقى د مع ك فاذن يحصل الاصطدام في جهتين متضادتين ويعقب ذلك انعدام كمية التحرك ويلزم بمقتضى القاعدة المطردة أن يصل ضرس د إلى ك قبل اتصال ضرس د و ز عن بعضهما

ولذلك كلك هنا الملوغلات التي لاحظناها في شأن الاصطدامات الصغيرة الحادثة من تحرك السفن حيث انها تجري في سائر انواع الآلات فتقول انه بموجب ما سبق اذا كانت السفينة مستقرة عرض يلزمها الاسفل انكماش واتقباض ويلزمها الاعلى اتبساط وامتداد وحدث عن هذين التغيرين أولا امتداد الياق الخشب او انكماشها وثانيا تلف قطع الاخشاب المتلاصقة واتصالها عن بعضها وثالثا انثناء المسامير المسكة لها او تكسرها وكلما تزايدت مقادير القوى المغيرة تزايدت تأثيراتها ايضا غير انها فيما بعد لا تنقص بنسبة واحدة عند تناقص هذه المقادير لان التغير المذكور انما يقع في الاجسام غير زامة المرونة

فعلى ذلك اذا تناقص تقوس السفينة اعتدلت المسامير واستقامت قليلا وقطع الاخشاب التي انفصلت عن بعضها لاتصل ثانيا الا من بعض اجزائها وكذلك الالياف الممتدة فانها تنكمش انكماشاً كافياً والالياف المنكمشة لا تعود الى طولها الاصل بالكلية

فاذن لا يوجد عظيم اتحاد بين مواد السفينة ومثل هذا العيب يؤثر في اخشاب السفن تأثيراً شديداً

واختلال هذه المواد لا يمنع من أن كل جزء منها يتحرك بدون معارض قليلا او كثيرا على حسب الاجراء التي كانت مجتمعة معه في الاصل قبل الاختلال ويطلق على مجموع هذه التحركات الصغيرة اسم تحرك الاخشاب

ولقد افترضنا أن القوى المعيرة مؤثرة في سفينة جميع اجزائها متحركة فان أول تأثيرها يكون عبارة عن تحويل مواد تلك السفينة عن اوضاعها بحسب ما تأخذ من الالتجانات بواسطة تحريكها ولا يعارض تحويل تلك المواد المقاومة لغيرها والى هنالم يخص شئ من كية القوى الناشطة الدافعة للسفينة بجماعها وانما يعرض لكل جزء عند تحوله عن وضعه بدون معارض على الوجه المذكور سرعة فاذا حصل له مقاومة شديدة من بقية الاجزاء حدث عن هذه السرعة اصطدام

فعلى ذلك لا يكتفى الضغط الهين في كون اجزاء السفينة تؤثر على بعضها بحيث تمتد وتنكمش وبالا اصطدام تزيد شدة القوة الاضطرابية زيادة بالغة وبذلك تبقى القوى المعيرة على حالها ويرداد تحريك قطع الخشب على الدوام وينشأ انما عن ذلك تأثيرات تصير بالتدريج خطيرة مضرّة

ثم ان ما ذكرناه من الاصطدامات هو ناشئ بالضرورة عن السرعة الغير البينة في صورة التغيرات البطيئة الواقعة في وسط السفينة وتكون شديدة سريعة في صورة ما يحدث عن القوى الطبيعية من الاضطراب

ولا يلزم أن نطبق على صناعة السفن ما يمكن تطبيقه على تشييد عمارة في الارض لا ينضم فيها تأثير القوة المعيرة الى تأثير قوة تناقل المواد وانما يلزم اعتبار السفينة في حالة سيرها على البحر المضطرب كثيرا اوقليلا او في حالة اضطرابها بالرياح القوية كثيرا اوقليلا التباينة كثيرا اوقليلا والدافعة كثيرا اوقليلا

فيعلم من ذلك أن مقادير القوى التي يحدث عنها تقوس السفينة تتغير في كل وقت حتى انها عند المتقدم والمؤخر تكون بالتعاقب موجبة وسالبة فيلزم اذن أن نعتبر السفينة المضطربة بالبحر والرياح كعبدان لا يزال عند عومه على وجه البحر المتوج يضي ويثني في المستوى الرأسى من طريقه ويسير الى جهة الامام فيحدث عن سيره تلك المثابة خط منعوج

ثم ان قوانين اصطدام الاجسام الصلبة المجردة عن المرونة هي كقوانين الاجسام الرخوة وما يعرض من التغير لاجزاء المتنوعة من هذه الاجسام لا يغير شيئا

من التحرك في وقت الاصطدام وليس الامر كذلك في اصطدام الاجسام المرنة
 فاذا تقابل جسمان على غاية من المرونة وكانا متحركين مجسما وسرعة وضوا عن
 كونهما يتوازنان ويلازمان السكون بعدم كل منهما قوة الاخر ويحول اليه
 جميع ماله من القوة الخاصة به فعلى ذلك يتقهقر كل منهما في طريقه بما كان له
 من السرعة قبل الاصطدام ولا تغير في كمية تحركه وهذه الخاصية للاجسام المرنة
 المتحدة في الجسم والسرعة لا تتغير بتغير المجسمات والسرعة بحيث يبقى مجموع
 كميات التحرك على حالة واحدة قبل الاصطدام وبعده

ولنذكر كذا هنا بعض تطبيقات على هذه القاعدة فنقول لنفرض أن جسم أ
 الساكن (شكل ١٦) يصدمه جسم ب المتحدة معه في الجسم وهو
م وفي السرعة وهي ق فتكون كمية التحرك صفرا بالنسبة الى جسم أ
 و م ق بالنسبة الى جسم ب فحينئذ تكون الكمية المذكورة بالنسبة
 للجسمين هي م ق فاذا نوصل جسم ب الى جسم أ سار كمية
 التحرك وهي م ق غير أن جسم أ لا يمكنه أن يوصل الى جسم ب
 الا كمية تحرك تساوي صفرا اعني معدومة فاذا نعدم جسم ب كمية تحركه
 هماما فيبقى ساكنا وما جسم أ الذي اخذ جميع كمية تحرك جسم ب
 واتحد معه في الجسم فانه يتحرك بالسرعة التي كان يتحرك بها جسم ب
 ولنفرض الآن أن هناك (شكل ١٧) ثلاثة اجسام مرنة ومتحدة الجسم
 كاجسام أ و ب و ث ولكن جسم ث هو المتحرك دون
 غيره فبصادمة هذا الجسم لجسم ب يوصل اليه جميع كمية تحركه ويبقى
 ساكنا وكذلك بصادمة جسم ب لجسم أ يوصل اليه جميع كمية تحركه
 ويبقى ساكنا فاذا نبتحرك جسم أ دون غيره بكمية التحرك التي كان
 يتحرك بها جسم ث

ويحصل مثل هذه النتيجة في صورة ما اذا كان هناك اربعة اجسام او خمسة الخ
 متساوية وكان الاخير منها هو المتحرك دون غيره فالاجسام المتوسطة تبقى بعد

الاصطدام ساكنة دائما كالجسم الاخير بخلاف الجسم الاول فانه يتحرك ويسير الى الامام بجمع كمية التحرك التي كان يتحرك بها الجسم الاخير ويتضح هذه الحقيقة الميكانيكية بواسطة **ا** **ب** **و** (شكل ١٨) تعلق بضبوط على صورة بندولات فاذا ابعدت اقولا كرتين احدهما عن يمين الخط الرأسى الممتد من نقطة التعليق والاخرى عن شماله وخليا ونفسهما للوقوع في زمن واحد فانهما يصلان الى الخط الرأسى في زمن واحد بسرعة واحدة ثم يتجهقان في طريقهما بالسرعة المذكورة .

فاذا كان العاج تام المرونة ولعب به في الفراغ فان الاكر تصعد بالضبط الى ارتفاع مبدا سيرها فاذا وقعت كلهما من هذا الارتفاع في زمن واحد فانها تصادم ايضا بسرعة واحدة ويحدث من ذلك التحرك الدائمى غير أن العاج ليس من الاجسام التامة المرونة لانه لا يوجد في الاجسام الطبيعية ما هو بهذه المثابة فاذن تصعد الاكر عقب كل اصطدام شيئا فشيئا الى اعلى ثم تنعدم عقب حصول عدة رجات كليات تحرك تلك الاكر بالكلية

واذا علقت ثانيا ثلاث اكر من العاج وكانت مماسة لبعضها البعض ورفعت الكرة الاولى وهي **ا** الى **ح** (شكل ١٨) ثم خليت ونفسها للوقوع فان الكرة المتوسطة وهي **ب** تبقى في هذا الوقت ساكنة وتصعد الكرة الاخيرة وهي **ث** الى **خ** في ارتفاع نقطة **ح** ثم تقع ثانيا وتوصل فتحركها بواسطة كرة **ب** الى كرة **ا** فتصعد الى **ح** ثم تهبط كالكرة الاولى وهلم جرا ويتحصل مثل هذه النتيجة في صورة ما اذا كان هناك اربع اكر او خمس او ست او اى عدد كان من الاكر .

ولا تقتصر هنا على ذكر الاصطدام المستقيم في الاجسام بل نذكر ايضا قوانين اصطدامها المنحرف مقتصرين في ذلك على فرض أن احد الجسمين ثابت ومستويا لا تتحرك وروما للاختصار حسب الامكان فنقول

انه في الوقت الذى يتلاقى فيه في نقطة **ث** كرة **ض** (شكل ١٩)

المدفوعة بقوة او المنحرفة مع المستوى الثابت تدور هذه الكرة حول
 نقطة θ بقوة تساوي \overline{ox} θ الذي هو خط عمودي على
 \overline{of} وترسم مستطيل \overline{ash} θ الذي ضلعا \overline{ok} و \overline{as}
 موازيان لمستوى \overline{mn} وضلعا \overline{at} و \overline{ak} و \overline{os}
 عمودان على هذا المستوى

فحين ان قوة \overline{ao} تعطل الى \overline{os} و \overline{ok} اذا كانت الكرة
 والمستوى جسمين مجزئين عن المرونة لم يبق معاندا الا \overline{ok} واما قوة
 \overline{os} التي هي عبارة عن ضغط الكرة على المستوى الثابت فيعطلها هذا
 المستوى

وبواسطة الاحتكاك الحاصل لمستوى \overline{mn} من ضغط \overline{os} تتحرك الكرة
 المدفوعة بقوة \overline{ok} والموازية لهذا المستوى وقد تقدم في الدرس الثالث
 عشر بيان الكيفية التي بها يمكن تقدير التأثيرات الحاصلة من هذه القوة

وحيث ان الاحتكاك يمنع الكرة عن التزحلق على مستوى \overline{mn} فانها
 تتدحرج على هذا المستوى كما تدحرج العجلة على الارض فاذا كان المستوى
 مجامه مصقولا بالسوية كانت مقاومة الاحتكاك الواحدة بالنسبة لضغط

\overline{os}

فاذا لم يكن الجسم الذي يصادم المستوى محيط مستدير فانه يتدحرج على هذا
 المستوى على وجه بحيث يصعد مركز ثقله ويهبط بالتعاقب ويحدث من ذلك
 مقاومات غير متساوية ومبهمة كثيرا او قليلا تقتصر على ذكرها هنا فنقول
 ان هذه المقاومات غير المتساوية تدل على أنه يلزم في توصيل الجهود
 المتواصلة مع الانتظام الى طول المستوى الثابت مجامه أن نستعمل دائما
 اجساما محيطياتها مستديرة كالكرو والاسطوانات والمخاريط وسطوح الدوران

على العموم

فإذا كان معابداً لاجن الجسم الصلب جسم رخو يصدم المستوى الثابت كانت المسئلة غامضة يلزم فيها معرفة الصورة التي يأخذها الجسم الرخو بعد الاصطدام غير أن هذه الصورة قل أن استعملت مع الفائدة في الفنون الميكانيكية

ولا يقع مثل ذلك في اصطدام الاجسام المرنة فإذا كان جسم تام المرونة بجسم أصادم مستوى مرن (شكل ٢٠) فان قوة أو الدافعة لا تصل الى قوتين اخريين احدهما وش التي تدفعه عمودياً على مستوى

مرن والثانية وك التي تؤثر فيه بالتوازي لهذا المستوى وحيث ان هذه القوة الاخيرة لا يمنعها مانع فانها تستمر على تأثيرها بعد الاصطدام فاذن يتحرك الجسم دائماً مع سرعة واحدة بالتوازي لمستوى مرن الثابت

وحيث ان قوة وش مؤثرة عمودياً على مرن كان يجري عليها قوانين الاصطدام المستقيم في الاجسام المرنة فاذن يلزم أن تحوّل قوة وش بتمامها الى المستوى الثابت وتعود الى وضعها الاصلي بواسطة مقاومة هذا الجسم المساوية دائماً للتأثير فيصعد حيثما الجسم المرن المدفوع بقوة مساوية لقوة وش غير أنها تكون متجهة الى جهة مضادة لجهتها وبناء على ذلك اذا وصل جسم مرن بجسم و يتحرك منتظم مستقيم الى وضع بحيث انه

في زمن معلوم يقرب من وك موازياً للمستوى الثابت ومن ش و عمودياً على هذا المستوى بعد حصول الاصطدام فان هذا الجسم يقرب في مسافة واحدة من الزمن من وك = وك موازياً للمستوى

الثابت ومن وش عمودياً على هذا المستوى وحيث يكون خط وا الذي هو عبارة عن اتجاها المسافة المقطوعة ومقاديرها هو وتر الشكل

التوازي الاضلاع القائم الزوايا وهو شوك أ المساوي شوك أ
فأذن تكون زاويتا اوش و اوش متساويتين

ففي ذلك اذا صدم جسم تام المرونة مستويا ثابثا بمصادمة على حسب زاوية
تعرف بزاوية السقوط فانه يكون ملازما لسرعته وياخذ اتجاها جديدا
يبعده عن هذا المستوى ابعادا على حسب زاوية تعرف بزاوية الانعكاس وهي
مساوية لزاوية السقوط

وقد سبق أن العاج قريب جدًا من الاجسام التامة المرونة فلذا اذا صدمت
الكرة المتخذة من العاج مستويا فانها تزدفع سرعتها الاصلية بحيث تكون زاوية
الانعكاس مساوية تقريبا لزاوية السقوط وبالجمله فلعب البليارد مبنى على
معرفة قانون اصطدام الاجسام المرنة

ولنفرض مثلا أن جانة من خانات البليارد كخانة ث (شكل ٢١)
موضوعة على وجه بحيث تناسب كرتي آ و ب فاذا مددنا ا والمستقيم
ش ب ه حتى وصل الى خط م ن وثانيا مستقيم ا ه حدث معنا
أن زاوية م ه ب = ن ه ا فاذا دفعا كرة آ الى نقطة ه
انعكست على اتجاه ه ب وصدمت ب مصادمة مستقيمة ثم سكنت
واما ب فانها تنقل الى هذه النقطة مع سرعة كسرعة آ تجاهها عند
الاصطدام في اتجاه ب ث الذي يصل الى الخانة وليست كرة ب
في الغالب على اتجاه ش ب ه القائم الموصل الى الخانة كما في شكل ٢٢
فيلزم اذن أن كرة آ بعد أن ترمي الى ه وتنعكس بحيث يكون ا ه ن
= م ه ا تصل الى وضع آ لتصادم كرة ب ثم تعود الى خانة ث
(وهذا الشرط يتحقق اذا كان مستقيم م ه المماس لكرتين في نقطة
تماسهما موضوعا على وجه بحيث تكون الزاويتان الحادثتان منه مع مستقيمي
ب ث و ا ه متساويتين)

ويؤخذ من ذلك أن لعب البليار يستلزم أن يكون النظر متمركزا على تصور
الاتجاهات والزوايا وأن تكون اليديا متمركزة على ما يرشدها النظر اليه
وفي القرن السابع عشر استعمل الشهير ووبان طريقة في اطلاق المدافع لها
علاقة بانعكاس الاجسام المرنة وهي انه اذا اطلقنا كرة متوسطة الثقل ككرة ٢٣
على اتجاه أ ب (شكل ٢٣) المرتفع قليلا عن الافق فان تلك الكرة
الواصله الى الارض بواسطة التناقل تقع في نقطة أ على حسب زاوية اكبر قليلا
من زاوية ب أ ن وتنعكس حينئذ على حسب زاوية ب أ ن المساوية
زاوية ب أ ن تقريبا ثم تقع مرة اخرى لترتفع ثانيا فاذا وجد حينئذ على خط
أ ن عدة موانع يانم ازايتها فانطلق عليها الكل عدة مرات حتى يحصل بذلك
الاصطدام والانعكاس او الوتوب وليس حصول الانعكاسات المتوالية
او الوتوبات مقصورا على صورة ما اذا ضربنا بالكرة على اجسام صلبة كالبلدران
المبنية بالاجار والاشخاب وكالحصون المثينة والسفن او ضربنا بها على ارض
مبلطة او برية متسعة او تلوح كما فعله الصاكر القرنساوية في واقعة اوسترلنس
بل تحصل ايضا في صورة ما اذا رمينا اجساما مرنة على سائل تضرب سطحه
على حسب زاوية سقوط صغيرة
ومثل ذلك يعرفه حق المعرفة الصبيان الذين يرمون على وجه الماء اجارا
مسطحة فان هذه الاجار تذب ويحدث عنها سبع انعكاسات او ثمانية او عشرة على
حسب كبر قوة الزاوي وصغرها وخفة يده عند الرمي
وفي الضوء الواقع على الاجسام الرخوة شاهد لطيف على ما للاجسام المرنة من
الانعكاسات المهمة لان زاوية الانعكاس في هذا الوقوع مساوية دائما لزاوية
السقوط واعظم الان لان القرنيحة ضبطا هو ما تحقق به مرونة تلك الاجسام
وقد تقدم في مجت الاصطدام أن الاجسام الصلبة والاجسام الرخوة نغدم
جره من قوتها اذا كانت اتجاهاتها متضادة وذلك متعذر في الاجسام التامة
المرونة ونادر في الاجسام غير تامة المرونة

وهذه الخزيرة المختصة بالأجسام المرنة دون الأجسام الصلبة والرخوة جداً استعمال تلك الأجسام نافعاً جداً في علم الميكانيكا مثلاً اذا لاحظنا تحرك العربات التي يعرض ليجلاتها دائماً اصطدامات كبيرة او صغيرة من الاجزاء البارزة في محورها وجدنا ان الاتبع في تلك العربات أن تحمل صناديقها او وسقها على يابايات لان تأثير هذه اليابايات يحفظ جراً من القوة الاقية كان يعدمه الاصطدام فيستعمل حينئذ هذا الجرز في تحرك العربة المتزايد واما جزء القوة الدافع للعربة من اسفل الى اعلى بواسطة تأثير اليابايات التي تنحني على نفسها حين تأخذ القوة الدافعة من اسفل الى اعلى في التأثير فان مركز ثقل العربة يرتفع به قليلاً وكثيراً لكن متى زال المانع وهبطت عجلات العربة بعد الصعود فان اليابايات الرافعة لصندوقها او وسقها تعيد مركز ثقلها الى ارتفاعه الاصلي بالنسبة الى العجلات

فعلى ذلك يعرض بواسطة تأثير اليابايات لمركز ثقل العربات تحرك قليل السرعة والمدة الى اعلى والى اسفل ويكون هذا التأثير ظاهراً جداً ان تقول بين درجات عربتين احدهما غير معلقة والاخرى معلقة بيابايات لا العربة المترايدة وليست فائدة التأثير المذكور مقصود

السياحين بل له فائدة اخرى اعظم من ذلك وهي أنه يقي بحصر المنقولة من التحركات السريعة والاصطدامات التي تضرب تلك المنقولات وتبخر شيمتها فاذا علقنا هذه المحصولات على يابايات لاجل ثقلها على العربات تحصل من ذلك فائدتان احدهما حفظ تلك المحصولات حفظاً تاماً والثانية أنه يكتفي في ثقلها قوة صغيرة جداً وقد اشتهرت هذه القواعد منذ سنوات وجرى عليها العمل قري عدينة باريس بجهة كبيرة من العربات معلقة على يابايات ومعدة لنقل الاشياء السريعة الالتف ولازال استعمالها آخذاً في الزيادة على مدى الايام لان له فائدتين احدهما ثقل الاتصال العظيمة بالخيول المعدة لذلك والثانية منع ضرر ما ينشأ عن ثقلها من العوارض

وليس لليابايات مجزء هاتين الفائدتين اللتين هما تقليل ما يعطل سير العربات

فإنه لا يمكن أن يتغير من الاصطدامات الشديدة أو يمنعها بالكلية

ثم إن مرونة الحبال تكسبها صلاحية لمقاومة الاصطدامات المريعة وتقبلها كاليات كما يشاهد ذلك في الحبال المربوطة من أحد طرفيها برأس الصاري ومن الطرف الآخر بجانب السفينة فإذا هبت الريح على حين غفلة واثرت في الشراعات بقوة جديدة فإن الحبال الموجودة في جهة الهواء تمتد تدريجاً بواسطة تأثير هذه القوة إلى النقطة التي تكون فيها المقاومة التدريجية الحاصلة من الحبال والمضافة إلى المقاومة المتزايدة الحاصلة من ثبات السفينة عند ميلها بتأثير الهواء مكافئة لقوة الهواء الدافعة ثم إن نقصت هذه القوة الدافعة فإن قوة مرونة الحبال تعيد هذه الحبال بالتدريج إلى طولها الأصلي وأما الصواري التي لمروتها تخفى بمجرد مد الحبال فإنها تعتدل بواسطة هذه المرونة ويكون كل من الحبال والصواري قابلاً لمقاومة جديدة إذا عاد الهواء إلى تأثيره السريع ومن المهم جداً أن تمتد الحبال مداً قوياً قبل استعمالها في استناد الصواري كالجواخيص والأطراف وذلك لأن تلك الحبال في مبدئ استعمالها تكون عرضة للمدة كثيراً بواسطة تأثير القوى الجاذبة في الجهة الطولية بدون أن تعود إلى امتدادها الأصلي عند انقطاع تأثير هذه القوى ويلزم من مبدئ الأمر أن تمتد حتى تبلغ الغاية في الحد قبل أن يحصل من قوة مرونتها ما يقصد منها مما يمكن الوصول إليه فيما تستعمل لأجله

وقد شاهدت السفينة ذات الكورنات الثلاثة المسماة بتجارة باريس حين انكسرت صواريمها العليا بين جريرة فرسقة وأفرقة لرداءة الهواء وفتند وكان منشأ ذلك أن تلك السفينة كانت قريية عهد بالتطعيم فكانت صواريمها ممسكة بحبال لم تبلغ في المدة الحد اللازم بحيث يكون لقوة مرونتها تأثير كالتأثير المقاومة لتأفة الكافة

وإذا اريد وضع اهو ان ثقيلة في جوانب السفينة ليرى منها كال ذات اقل عظمة لم لاجل تخفيف الاصطدام الحاصل عند رمى الكفة الدافع لها ون على

السفينة دفعا قويا بأن يهتم بوضع طبقة كثيفة من الاجسام المرونة على الكورينة
ليقع عليها بالتدريج تأثير الضغط الحاصل من الهاون فتقي بذلك انحساب
السفينة على اختلاف انواعها من الخرزق والتكسر

فاذا وضع سندال على بناء صلب حال عن المرونة فان تأثير الاصطدامات
التواليه الحادثة من الضرب بالمطرقة على السندال يكسر الاجزاء الموضوعة
عليها هذا السندال في اقرب وقت فان حصل الاهتمام بوضع جسم مررن
ككثله من خشب تحت السندال المذكور فان البناء الحامل لهذه الكثله
لمحه التلف

وإذا ضرب الصانع بمطرقة رأسها من الحديد ونصاها من الخشب فان الاصطدام
الحادث من رأس المطرقة يوصل الى تصابها الارتجاجات تتعب يد الصانع كثيرا
لا سيما في مثل اشغال الخاس والسنكري لان ضربات المطرقة فيها تكون
مستتالية على سطوح مرصعة فاذا نال الاهتمام يجعل قبضة التصاب اغلظ من
جسم الموضوع في رأس المطرقة حتى تمر الارتجاجات بقطاعات تكون سعتها
في مبداء الامر قليلة ثم تتدششا فشيئا وبذلك تأخذ شدتها في القلة والضعف
حتى يتدرج حتى ينتهي امرها الى أن الصانع لا يحس بها الا احساسا هينا
الى هاتم الجزء الثاني من كتاب كشف رموز السر المصون في تطبيق الهندسة
الى الفنون على يد معصمه المستنصر بمولاه القوى * الملحق اليه تعالى محمد
بن عبد الله * بعدمقابلته على اصله مع مترجه * ومعرب كله * السيد صالح
تدري وكان تحرير الفاظه الاصلاحيه * واما ما

بمعرفة حضرة محمد افندي يوم راجعه
قاعة انوار العلوم
المتدرب عليه * والمرجع
مدير المدارس * التي هي
بمعدومة اللوآدهم سلازلت

بما طوى التم وانجباله بدوام السعادة والسود

